Н. А. БЫХОВЕР

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ РЕСУРСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

по эпохам рудообразования

Н. А. БЫХОВЕР

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ РЕСУРСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

по эпохам рудообразования

44334

УДК 553.3/9 : 551,7 (1/9)

Быховер Н. А. Распределение мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра. – 1984. – 576 с, ил.

Рассмотрены закономерности формирования и размещения промышленных месторождений полезных ископаемых во времени и пространстве. Охарактеризованы эпохи рудообразования. Описаны геологическое строение и генетические особенности месторождений, составляющих основу минерально-сырьевой базы мира, дана их геолого-экономическая оценка. Второе издание (1-е изд. – 1963) переработано и дополнено с учетом новых данных по изучению и освоению месторождений минерального сырья, а также изменений в требованиях к качеству руд и в технологии их переработки.

Для геологов и других специалистов, занимающихся поисками, разведкой и оценкой месторождений полезных ископаемых, а также вопросами перспективного планирования поисково-разведочных работ.

Табл. 8, ил. 118.

НОСОН АРОНОВИЧ БЫХОВЕР

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИРОВЫХ РЕСУРСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПО ЭПОХАМ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Редактор издательства А. М. Антокольская
Переплет художника Ю. Г. Асафьева
Художественный редактор Е. Л. Юрковская
Технический редактор О. А. Колотвина
Корректор М. П. Курылева

ИБ № 4558

Подписано в печать 28.03.84. Т-06965. Формат 60 x 90 1/16.
Бумага офсетная № 1. Набор выполнен на наборно-пишущей машине типа ИБМ "Композер". Гарнитура "Пресс-роман". Печать офсетная. Усл.печ.л. 36,0. Усл.кр.-отт. 36,0. Уч.-изд.л. 42,7. Тираж 1220 экз. Заказ 445 /8716-14
Цена 2 р. 70 к.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра", 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Тула, проспект Ленина, 109.

Б 1904050000-243
043 (01) -84 Свод. пл. подписных изд. 1984

©Издательство „Недра", 1984

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание книги „Распределение мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования" вышло в свет двадцать лет назад. В настоящее время потребовалось второе издание, значительно переработанное и дополненное новыми сведениями в связи с существенными изменениями, которые произошли в мировой минерально-сырьевой базе за истекший период. Выявлены новые нефтегазоносные, угленосные и рудные районы, уточнены представления о распределении мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования, о соотношении промышленно-генетических типов полезных ископаемых в общем их балансе, изменились требования к качеству руд и технико-экономическим условиям их разработки.

Проведенные за прошедшие годы геологоразведочные работы привели к открытию многих тысяч месторождений разнообразных полезных ископаемых. К ним относятся:

– мезозойские месторождения нефти и газа Западно-Сибирской низменности, Месопотамской впадины, акваторий Персидского и Мексиканского заливов и шельфа Северного моря;

– докембрийские железные руды Австралийской платформы и бассейна р. Амазонки, запасы которых оцениваются десятками миллиардов тонн;

– кайнозойские высокосортные латеритные бокситы Гвинеи и Австралии, запасы которых оцениваются миллиардами тонн;

– кайнозойские месторождения меднопорфировых руд США, Чили, Перу, Папуа-Новой Гвинеи и мезозойские – Канады, где созданы крупные горно-обогатительные и медеплавильные предприятия;

– мезозойские месторождения сульфидных медно-никелевых руд Восточной Сибири, разработка которых позволила увеличить производство меди, никеля и других ценных сопутствующих полезных компонентов;

– верхнепалеозойский пояс стратиформных полиметаллических (преимущественно свинцовых) руд Вибурнум в Миссури (США), прогнозные запасы которых оцениваются в 1 млрд. т при содержании свинца 2,5–3,0% и цинка 1%;

– новые промышленные типы месторождений бериллия США, Канады, Мексики, рудные минералы которых представлены бертрандитом, фенакитом, бариллитом и эвклазом.

К важнейшим достижениям геологической науки и практики последних лет, несомненно, относятся открытие и ускоренная разработка месторождений полезных ископаемых на дне морей и океанов. Поиски таких месторождений приобрели необычайный размах, и подводные работы на континентальном шельфе осуществляются более чем 30 странами.

Морские месторождения теперь обеспечивают свыше 20% мировой добычи нефти и 10% газа. Удельный вес их в добыче олова, алмазов,

самородной серы и ряда других полезных ископаемых также значителен. Большое практическое значение, вероятно, приобретут огромные ресурсы никеля, меди, кобальта и марганца в глубоководных конкрециях Тихого и Атлантического океанов.

В предлагаемой читателям книге охарактеризована современная минерально-сырьевая база мира. Наиболее крупные и богатые месторождения полезных ископаемых описаны по эпохам рудообразования – докембрийской, раннепалеозойской, позднепалеозойской, мезозойской и кайнозойской. Каждой из этих эпох свойственны свои специфические условия образования месторождений, хотя нередко месторождения, весьма сходные по геологическому строению и составу руд, образовались в различные эпохи рудообразования.

Под термином „рудообразование" подразумевается образование не только собственно рудных (металлических) полезных ископаемых, но также и всех нерудных (неметаллических), в том числе горючих ископаемых (нефти, газа, углей).

В книге освещены геологические и генетические особенности месторождений и рудных районов, характерные для каждой эпохи рудообразования, и приведены необходимые для оценки их практический значимости сведения о качестве сырья, запасах и добыче. Данные о добыче имеют существенное значение для правильного представления о промышленной ценности месторождения и в этом отношении нередко являются более надежным критерием, чем публикуемые сведения о запасах минерального сырья зарубежных стран.

Автор надеется, что обширный фактический материал, приведенный в предлагаемой читателю книге, поможет геологам сделать выводы о некоторых закономерностях процессов рудообразования и наметить критерии для поисков промышленных месторождений полезных ископаемых.

ВВЕДЕНИЕ

Образование месторождений полезных ископаемых представляет собой естественноисторический процесс, который протекает непрерывно и находится в тесной взаимосвязи со всеми другими геологическими факторами развития Земли, в первую очередь с магматизмом, осадконакоплением и тектоникой. В зависимости от многообразных движений и изменений, происходивших в земной коре, от существовавших во времени и пространстве физико-химических условий происходило формирование различных месторождений минерального сырья, их последующее преобразование или уничтожение.

В настоящей время в результате геологических исследований накоплен огромный фактический материал, позволяющий наметить основы истории создания и развития современных минерально-сырьевых ресурсов мира. В частности, большую роль сыграли определения абсолютного возраста пород и руд, на основе которых удалось уточнить время формирования важнейших месторождений и рудных районов и более достоверно установить условия их образования. С помощью радиоактивных методов установлен возраст рудных образований в наиболее древних геологических формациях Земли, исчисляющийся в 3,5 млрд. лет. Начиная с этого времени следы непрерывного развития эндогенных, метаморфогенных и экзогенных процессов рудообразования прослеживаются вплоть до наших дней.

Поскольку процессы образования месторождений полезных ископаемых связаны со всеми другими геологическими процессами и целиком ими обусловлены, естественно, что каждому этапу геологической истории развития Земли соответствует и определенная эпоха рудообразования со свойственной ей специфической эндогенной, метаморфогенной и экзогенной минерализацией.

При современном состоянии геологической изученности целесообразно выделить в истории формирования месторождений минерального сырья пять эпох рудообразования – докембрийскую, раннепалеозойскую (кембрий, ордовик и силур), позднепалеозойскую (девон, карбон и пермь), мезозойскую и кайнозойскую. По времени проявления они совпадают с соответствующими геологическими эрами, при этом в пределах палеозойской эры достаточно отчетливо выделяются две эпохи, резко различные по характеру рудообразования.

Следовало бы и в докембрии выделить по крайней мере две эпохи рудообразования (соответствующие архею и протерозою), поскольку они также различаются по комплексам сформировавшихся полезных ископаемых, но по многим районам и видам минерального сырья для такого деления нет необходимых данных.

В соответствии с принятой в Советском Союзе геохронологической шкалой продолжительность докембрия и соответственно докембрийской

эпохи рудообразования устанавливается в 2900 млн. лет, раннепалеозойской – 170 млн. лет, позднепалеозойской – 175 млн. лет, мезозойской – 155 млн. лет и кайнозойской – 70 млн. лет. В каждой из названных эпох проявился ряд тектоно-магматических и седиментационных циклов, с которыми связано возникновение определенных комплексов полезных ископаемых. Пока еще не накоплено достаточно данных для того, чтобы установить хронологический порядок этих циклов, тем более что на разных материках они проявлялись неодновременно. Поэтому не всегда можно провести четкую границу между отдельными эпохами рудообразования.

Например, магматическая деятельность и связанная с нею эндогенная минерализация, начавшиеся в ряде районов в конце мелового периода, продолжались и в нижнетретичное время. В южной части Африки с этим этапом магматизма связано внедрение алмазоносных кимберлитов, и хотя часть из них, вероятно, образовалась в конце мезозоя, они целиком отнесены к конечной фазе этой интрузивной деятельности, т.е. кайнозойской эпохе рудообразования. К кайнозою отнесены также месторождения меднопорфировых и молибденовых руд в юго-восточных штатах США и Южно-Американских Кордильерах, формирование которых, вероятно, также началось в конце верхнего мела.

Рудообразующие процессы разных эпох отличались своими специфическими особенностями, характером и интенсивностью минерализации и районами ее проявления; это обусловило и крайне неравномерное географическое размещение месторождений большинства видов минерального сырья и исключительное многообразие их генетических типов.

Для докембрийской эпохи рудообразования характерно повсеместное развитие железистых кварцитов, заключающих огромные, практически неограниченные запасы железных руд. Во всех районах их развития железистые кварциты обладают сходными геологическим строением и минеральным составом, свидетельствующими о существовании во время их формирования универсальных, устойчивых и весьма продолжительных физико-химических и палеогеографических условий на всей поверхности Земли.

Специфически докембрийскими являются ураноносные и золотоносные конгломераты Витватерсранда (ЮАР), в которых заключена бóльшая часть мировых ресурсов золота и урана. К докембрийскому возрасту относятся все известные промышленные месторождения мусковита и большая часть редкоземельных и редкометалльных пегматитов.

Для докембрия весьма характерен высокий удельный вес крупных месторождений железных руд, титаномагнетитов, марганца, хромитов, меди, никеля, кобальта, свинца и цинка, золота, платиноидов, урана, асбеста. В то же время практически отсутствуют докембрийские промышленные месторождения нефти и газа, угля, горючих сланцев, бокситов, олова (за исключением оловоносных пегматитов), вольфрама, молибдена, сурьмы, ртути, фосфора, калийных солей , серы.

По-видимому, в докембрии не было благоприятных условий для образования промышленных месторождений нефти, угля, калийных

солей, серы и фосфоритов. Докембрийские месторождения бокситов и бокситоподобных глин в результате регионального метаморфизма были преобразованы в корундовые, кианитовые и силлиманитовые породы, а месторождения олова, вольфрама, молибдена, ртути, сурьмы и алмазов, формирование которых обычно происходит на малых и средних глубинах, могли быть уничтожены последующими процессами эрозии.

Значительная глубина эрозионного среза в районах развития докембрийских образований позволяет считать, что бóльшая часть месторождений полезных ископаемых, сформированных в эту эпоху, была уничтожена. Но и сохранившиеся докембрийские месторождения составляют значительную часть мировых ресурсов важнейших видов минерального сырья. В них заключено 80,8% достоверных запасов железных руд капиталистических и развивающихся стран, 89,3% марганцевых руд, 56,8% урана, 62,6% кобальта, 33,7% никеля, 98,3% общих запасов хромитов; к докембрию относятся почти все запасы мусковита и бóльшая часть запасов золота и платиноидов. Удельный вес докембрийских месторождений в суммарной добыче железных руд этих стран составляет 81%, хромитов 81,5%, кобальта 74,7%, марганцевых руд 78,3%, никеля 54,7%, урана 51,4%.

По континентам и странам месторождения докембрийского возраста размещены неравномерно. Наиболее продуктивно докембрийские рудообразующие процессы проявились в Южной Африке и в Канаде, где в это время сформировались крупнейшие в мире месторождения важнейших видов минерального сырья.

В Южной Африке в докембрии создались уникальные концентрации золота и урана в конгломератах, меди и кобальта в песчаниках, а также хромитов и платиноидов, генетически связанных с основными и ультраосновными интрузиями Бушвелдского комплекса и Великой дайки. Здесь известны также крупные докембрийские месторождения титаномагнетитов, марганца, редкометалльных и оловоносных пегматитов и асбеста.

В пределах Канадского щита к докембрийскому возрасту относятся крупнейшие в мире месторождения урана в конгломератах и залежи сульфидных медно-никелевых руд, генетически связанных сложнодифференцированными ультраосновными интрузиями. В докембрийское время образовались уникальные месторождения полиметаллических руд (Сулливан), самородной меди (Верхнее озеро) и криолита (Ивигтут), а также многочисленные месторождения медноколчеданных руд, золота, редкометалльных пегматитов и флогопита.

В Азии сосредоточена бóльшая часть мировых ресурсов мусковита и известны крупные месторождения марганца, формирование которых происходило в докембрии.

Для Украинского и Балтийского кристаллических щитов, кроме широко распространенных железистых кварцитов и связанных с ними богатых железных руд, широко развитых на докембрийских платформах и щитах всех континентов, весьма характерны мусковитовые и редкоземельные пегматиты. На северной окраине Балтийского щита извест-

ны месторождения медно-никелевых и железных руд, генетически связанные с внедрением ультраосновной и сиенитовой магмы. В пределах этого щита встречаются также месторождения колчеданных руд, титана и антофиллит-асбеста.

В Австралии к докембрию относятся крупные месторождения железных, полиметаллических и урановых руд, а также многочисленные месторождения золота и оловоносных пегматитов.

Обращает на себя внимание незначительный удельный вес, занимаемый в мировых ресурсах минерального сырья месторождениями р а н н е п а л е о з о й с к о й эпохи рудообразования, хотя в течение этого сравнительно продолжительного времени интенсивно проявлялись разнообразная магматическая деятельность и тектонические движения. Многие исследователи относили к нижнему палеозою месторождения медистых песчаников в Заире и Замбии, хромитов, платиноидов, титаномагнетитов и марганца в Южной Африке, полиметаллических руд в Намибии, олова в Заире, Нигерии, Южной Африке и Южной Австралии и многие другие. Однако, судя по последним геологическим данным и результатам определений абсолютного возраста пород и руд, эти месторождения, несомненно, образовались в докембрийское время.

Среди известных в настоящее время месторождений полезных ископаемых нижнепалеозойского возраста заметная роль в мировых ресурсах и добыче принадлежит лишь Прибалтийскому бассейну горючих сланцев, месторождениям фосфоритов в Каратау, калийных солей на Сибирской платформе, плавикового шпата на Дальнем Востоке, фосфоритов в КНР, нефти в Северной Америке и Северной Африке, хризотил-асбеста, морских оолитовых железных руд и редкометалльных пегматитов в Северной Америке.

Несравненно большее значение имеют месторождения п о з д н е п а л е о з о й с к о й э п о х и рудообразования, в которых заключена значительная часть мировых ресурсов каменных углей, нефти, калийных солей, свинца и цинка, меди, а также крупные запасы олова, вольфрама, ртути, асбеста, фосфатного сырья и плавикового шпата.

В позднем палеозое образовались крупнейшие месторождения и бассейны каменных углей Европы, Азии и Северной Америки, заключающие 50% мировых разведанных запасов и обеспечивающие 60% мировой добычи углей. К позднему палеозою относится значительная часть разведанных запасов нефти Советского Союза, США и Канады. Примерно такое же значение имеют верхнепалеозойские месторождения в добыче нефти. Для верхнего палеозоя, особенно для среднего девона и нижней перми, весьма характерно развитие мощных соленосных толщ, к которым приурочены крупнейшие месторождения калийных и магниевых солей в Европе и Северной Америке, а также широкое распространение медистых песчаников каменноугольного и пермского возраста преимущественно в ГДР, Польше и Советском Союзе. В США к верхнему палеозою, главным образом к нижней перми, относится формирование крупнейшего в мире фосфоритоносного бассейна (формация фосфорита в Скалистых горах).

Весьма интенсивно, особенно на Урале, в Казахстане и Средней Азии, проявилась позднепалеозойская эндогенная минерализация. В этих районах сосредоточены многочисленные магнетитовые, медноколчеданные, медно-порфировые, полиметаллические, вольфрамовые, молибденовые, сурьмяно-ртутные, плавиковошпатовые месторождения позднепалеозойской эпохи рудообразования, известны промышленные месторождения хромитов, асбеста, золота и других полезных ископаемых.

Широко распространены верхнепалеозойские месторождения минерального сырья в Западной Европе, где к ним относится бóльшая часть известных месторождений полиметаллических, медноколчеданных, оловянно-вольфрамовых, урановых, плавикошпатовых руд и редкометалльных пегматитов. Эти месторождения характеризуются преимущественно мелкими и средними масштабами, сравнительно высоким содержанием полезных компонентов и комплексным составом руд. В прошлом крупнейшим в мире источником добычи олова являлась Корнуоллская провинция в Великобритании.

Менее разнообразно эндогенная минерализация в позднем палеозое проявилась в Северной Америке. Предположительно к этому времени относится образование крупных полиметаллических и плавиковошпатовых месторождений долины Миссисипи в США, свинцово-цинкового месторождения Пайн-Пойнт и флюоритовых месторождений Ньюфаундленда в Канаде. С девонскими гранитоидами генетически связаны многочисленные месторождения золота и редкометалльных пегматитов в Аппалачах.

Разнообразными месторождениями полезных ископаемых характеризуется мезозойская эпоха рудообразования. Наиболее интересные из них сосредоточены в Азии. К ним относятся месторождения нефти и газа Западной Сибири и Среднего Востока, бассейны угля и оолитовых железных руд, а также месторождения сульфидных медно-никелевых руд с кобальтом и платиной в Сибири, коренные месторождения олова и вольфрама в КНР и Малаккской провинции, заключающие бóльшую часть мировых запасов этих металлов, крупные штокверковые месторождения молибдена в КНР и Восточной Сибири, месторождения сурьмы в КНР, алмазов в Якутии и многочисленные месторождения плавикового шпата в Восточной Сибири, Монголии, КНР и КНДР. На других континентах месторождения мезозойского возраста отличаются небольшими, реже средними размерами и, за исключением месторождений меди, молибдена, вольфрама и золота в Северной Америке, ниобия в Южной Америке и сурьмы в Южной Африке, не имеют существенного значения в мировых запасах и добыче.

Исключительно широко распространены и разнообразно представлены месторождения кайнозойской эпохи рудообразования. Они заключают бóльшую часть мировых ресурсов бокситов, никеля и кобальта, приуроченных к коре выветривания, около 75% разведанных запасов марганца, все достоверные запасы серы и значительную часть ресурсов нефти, меди, свинца, цинка и особенно серебра, золота, молибдена, алмазов и фосфоритов. Формирование многих из этих месторождений началось еще в позднемеловое время, и, как отмечалось выше, ниж-

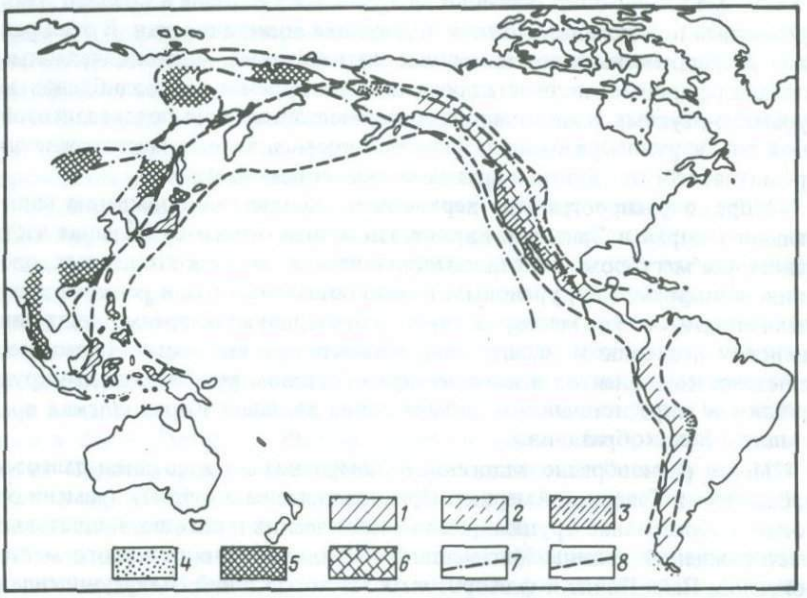


Рис. 1. Схема основных металлогенических элементов Тихоокеанского пояса *(по М. М. Константинову)* :

1 – районы преимущественно медного оруденения третичного возраста; *2* – районы полиметаллического оруденения третичного возраста; *3* – районы ртутного оруденения третичного возраста; *4* – районы оловянного оруденения третичного возраста; *5* – районы оловянно-вольфрамового оруденения мезозойского возраста; *6* – районы вольфрамового оруденения мезозойского возраста; *7* – контуры Восточно-Азиатского мезозойского рудного пояса; *8* – контуры Тихоокеанского третичного рудного пояса

нюю границу кайнозойской эпохи рудообразования следовало бы провести в верхнем мелу.

Многочисленные кайнозойские месторождения различных полезных ископаемых, так же как и большое количество месторождений мезозойского возраста, сосредоточены на тихоокеанском побережье. Примерное размещение проявлений эндогенной промышленной минерализации в этом протяженном рудном поясе показано на рис. 1.

Особенно продуктивно кайнозойская магматическая деятельность проявилась: в Кордильерах, где с нею генетически связаны крупнейшие месторождения меди, молибдена, олова, а также многочисленные месторождения свинца, цинка, серебра, ртути; в Южной Африке, где распространены многочисленные алмазоносные кимберлитовые трубки этого возраста; в Западной Европе, где в кайнозое образовались крупные месторождения ртути и сурьмы.

Для кайнозоя весьма характерны приповерхностные условия эндогенной минерализации, ассоциация ее с вулканогенными образованиями

(в том числе с вулканическими жерлами) и гипабиссальными интрузивными породами, широкое развитие телескопированных руд и гипогенной концентрической зональности.

Удельный вес кайнозойских месторождений нефти в мировых запасах и добыче значителен. Наиболее крупные из них сосредоточены в Месопотамской, Примексиканской, Маракаибской впадинах, в Калифорнии и в южных районах Советского Союза. Мировое значение имеют олигоценовые осадочные месторождения марганца в Советском Союзе, а также латеритные месторождения бокситов, никеля и кобальта, приуроченные к кайнозойской коре выветривания, в странах Южной Америки, Юго-Восточной Азии, Африки и Океании. Широко распространены россыпные месторождения алмазов, золота, касситерита, вольфрамита, шеелита, ильменита, рутила, циркона, монацита.

Судя по характерным особенностям кайнозойской эндогенной минерализации, свидетельствующим о близповерхностном формировании большинства месторождений полезных ископаемых, можно предполагать, что в предшествующие эпохи образовывались аналогичные месторождения, но впоследствии они были уничтожены процессами эрозии.

Вполне вероятной также представляется возможность обнаружения в районах проявления кайнозойского магматизма месторождений полезных ископаемых, формирование которых происходило на больших глубинах, еще не вскрытых эрозией. В частности, то, что все известные промышленные месторождения мусковита и редкоземельных пегматитов относятся к докембрийскому возрасту, вовсе не означает, что в более поздние эпохи месторождения этих полезных ископаемых не образовывались. Существует достаточно обоснованное мнение, что формирование редкоземельных и мусковитовых пегматитов происходило на глубине порядка 8000 м, и поэтому можно предполагать, что если аналогичные пегматиты и были созданы в более поздние эпохи, то они находятся на глубинах, еще не вскрытых эрозией.

За последнее время достигнуты большие успехи в определении возраста пород и руд, однако для многих, особенно для эндогенных и метаморфогенных месторождений этот вопрос остается нерешенным. Сравнительно редко встречаются месторождения, для которых на основании взаимоотношения руд с вмещающими и перекрывающими породами удается более или менее достоверно определить время их образования. Во многих случаях можно установить лишь нижний или верхний возрастной предел оруденения, а часто и такая возможность отсутствует.

В отношении генезиса многих месторождений полезных ископаемых существуют различные, нередко диаметрально противоположные точки зрения, и, естественно, вопрос о возрасте месторождений остается спорным. В течение многих лет, например, ведутся дискуссии относительно генезиса золотоносных и урановосных конгломератов Витватерсранда, медистых песчаников Заира, Замбии и СССР, полиметаллических месторождений долины Миссисипи и многих других месторождений. Одни исследователи считают их осадочными, другие – гидротермальными, при

этом один и тот же фактический материал служит основанием для резко различных выводов. Если исходить из предположения об осадочном происхождении руд, то и определения абсолютного возраста следует относить только к замеренным минералам и не устанавливать по ним время седиментации включающих их осадков и формирования месторождений. К тому же замеры абсолютного возраста пород и руд не всегда однозначны. Нередко они значительно различаются и далеко не всегда согласуются с общегеологическими данными. Трудность положения усугубляется тем, что существуют серьезные сомнения в одновременности образования отложений, содержащих одинаковую фанту, на различных континентах.

Поэтому при отнесении некоторых месторождений к той или иной эпохе рудообразования приходится основываться в значительной степени на косвенных, а иногда и на чисто субъективных данных.

ДОКЕМБРИЙСКАЯ ЭПОХА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Космическая стадия развития Земли, определенная эволюцией изотопного состава свинца и урана, укладывается в промежуток времени 5500–4500 млн. лет. Следующая догеологическая стадия (4500–3500 млн. лет) устанавливается по изменению скорости накопления радиогенных изотопов свинца. Вариант шкалы геологического развития Земли, созданный в 1964 г. в Советском Союзе, был утвержден Комиссией по определению абсолютного возраста геологических формаций при Отделении наук о Земле АН СССР. Дальнейшее уточнение шкалы произведено Международной геохронологической комиссией в 1965 г. Поскольку древнейшие достаточно точно измеряемые породы датируются 3500 млн. лет, этим возрастом определяется нижняя граница геологической стадии развития Земли (табл. 1).

Докембрийские породы составляют основание современных материков и занимают бóльшую часть поверхности суши (рис. 2): в Европе они слагают Русскую платформу с Балтийским и Украинским кристаллическими щитами; в Азии – Сибирскую платформу с Анабарским и Алданским щитами, Китайскую платформу с Синийским и Южно-Китайским щитами и Индийскую платформу; В Северной Америке – Северо-Американскую платформу с Канадским щитом; в Южной Америке – Южно-Американскую платформу с Бразильским и Гвианским щитами; в Африке – Африканскую платформу с Сахаро-Аравийской плитой и Южно-Африканским щитом; в Австралии – Австралийскую платформу.

Глубокий метаморфизм докембрийских пород, отсутствие фаунистически охарактеризованных отложений, широкое развитие процессов мигматизации и гранитизации, многократное проявление интрузивной деятельности и интенсивных тектонических движений создали значительные трудности для более или менее достоверного возрастного расчленения докембрийских образований, мощность которых местами измеряется десятками километров. Весьма трудным оказалось также установление возраста рудной минерализации, особенно в тех случаях (обычно доминирующих), когда месторождения полезных ископаемых располагаются среди комплексов однообразных гнейсов, кристаллических сланцев и гранитоидов.

Однако при всей сложности проблемы возрастного расчленения докембрийских образований почти во всех областях их развития удается выделить отдельные тектоно-магматические периоды с характерными для них комплексами пород и рудной минерализации.

Значительный прогресс в изучении докембрия достигнут в последнее время в связи с накопленными результатами замеров абсолютного возраста пород и руд. Это позволило в пределах наиболее изученных докембрийских платформ и щитов хотя бы в первом приближении установить возраст определенных этапов осадконакопления, магматической деятель-

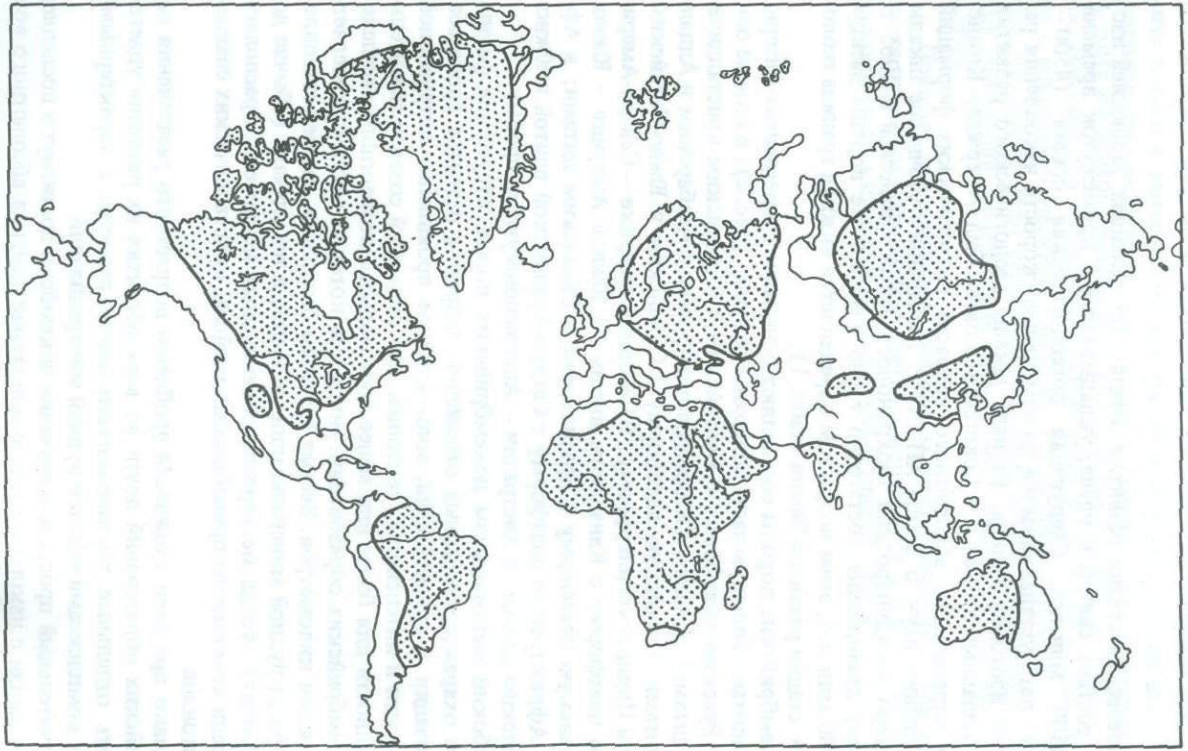


Рис. 2. Области докембрийской складчатости – древние платформы и щиты (показаны точками)

Таблица 1

Схема геохронологии Земли
(по А. И. Тугаринову)

Шкала, 1964 г.		Частное деление	Возраст, млн. лет	Тектоно-магматический цикл
Фанерозой		–	650	Катангский
Протерозой	Средний и верхний	Верхний рифей Средний рифей Нижний рифей	1000±100 1400±100 1900±100	Гренвильский Медвежеозерский Беломорский
	Нижний	Формирование преимущественно фундамента платформ	2600±100	Родезийский
Архей		Возникновение древних ядер щитов Возникновение жизни	– 3500±100	– Белозерский
Катархей		Создание Земли	4500±150	–

ности, тектонических движений и рудообразования; при этом наметилась некоторая синхронность проявления указанных процессов на разных континентах.

Несомненно, что в течение весьма продолжительного докембрийского периода развития Земли проявилось много этапов рудообразования. Некоторые из них носили универсальный характер, и связанные с ними однотипные, близкие по возрасту образования и месторождения полезных ископаемых известны почти на всех континентах. Однако гораздо больше было локальных тектоно-магматических циклов и этапов рудообразования, которые на разных континентах проявлялись в разное, хотя может быть и в близкое время и сопровождались различной минерализацией.

При рассмотрении этих вопросов следует также иметь в виду, что большая часть месторождений, созданных в ранние этапы формирования земной коры, была полностью уничтожена позднейшими процессами эрозии, и в настоящее время даже в районах, наиболее детально изученных, не представляется возможным более или менее полно оценить характер первоначальных этапов рудообразования.

Методами определения абсолютного возраста выделены участки наиболее древних докембрийских образований (более 2500 млн. лет) – „ядра континентов" по Холмсу, представленных преимущественно глубокометаморфизованными основными эффузивами. С проявившей-

ся в это древнейшее время интрузивной деятельностью связаны процессы рудообразования, например в Сьерра-Леоне (Западная Африка), где возраст монацита из элювия сланцевой толщи камбуи оказался равным 2930 ± 200 млн. лет. Примерно к тому же возрасту относятся развитые здесь железистые кварциты, незначительные проявления свинцовой минерализации в Зимбабве (2700 ± 300 млн. лет) и, возможно, отдельные редкометалльные пегматиты района Йеллоунайф в Канаде.

Шире распространены рудные проявления несколько более позднего этапа минерализации, следы которого установлены почти на всех докембрийских щитах и платформах. В это время образовались пегматиты, преимущественно редкоземельные, известные на Украине, в Западной части Канады, в южных районах Индии, центральной части Мадагаскара, в Зимбабве, Свазиленде и на севере Заира. На Мадагаскаре и в Южной Африке пегматиты содержат в заметных концентрациях берилл, сподумен, касситерит и тантало-ниобаты и, по-видимому, являются источниками ряда разрабатываемых в настоящее время россыпных месторождений названных минералов.

К этому этапу минерализации относятся также проявления полиметаллического оруденения в северных районах Заира (2680 ± 200 млн. лет), железистые кварциты, широко распространенные в Южной Африке, а также золотоносные кварцевые жилы Зимбабве, возраст которых, определенный по галениту, составляет 2730 ± 200 млн. лет. Возраст в 2600 ± ± 200 млн. лет установлен для железистых кварцитов серии киватин в Канаде, вероятно, в то же время происходило формирование железистых кварцитов Оленегорского месторождения Кольского полуострова (2400–2560 млн. лет), графитовых месторождений Мадагаскара (2400 – 2600 млн. лет). Позднее в пределы Балтийского щита внедрились гранито-гнейсы Приладожья и образовались генетически связанные с ними полиметаллические месторождения Кинон-Козиала (2400 ± 200 млн. лет) и Питкяранта (2330 ± 200 млн. лет). Примерно к этому возрасту относятся железные руды Индии, приуроченные к средней свите Дхарварской системы (2300 – 2450 млн. лет), месторождения марганца гондитовой серии и месторождения мусковита Бихарского пегматитового пояса. Абсолютный возраст 2300 млн. лет установлен для свинцовых месторождений Западной Австралии и 2200 ± 400 млн. лет – для месторождения криолита Ивигтут на западном побережье Гренландии. Несколько позднее образовались месторождения марганца Западной Африки, приуроченные к бирримской серии (2190 млн. лет), и золотокварцевые жилы ряда районов Канады (2100 млн. лет).

Исключительной продуктивностью отличался следующий этап рудообразования, который укладывается в интервале 2000–1700 млн. лет. К этому времени относится образование одного из самых ценных в мире месторождений полезных ископаемых, крупнейшего источника золота и урана – месторождения Витватерсранд в Африке. Если исходить из осадочной теории оруденения витватерсрандских золотоносных конгломератов, то надо считать, что возраст 2000 млн. лет, установленный для заключенных в них урановых минералов, относится к первичным корен-

ным источникам этих минералов, а сами конгломераты являются несколько более поздними образованиями. В конгломератах Витватерсранда установлена также генерация урановой минерализации, абсолютный возраст которой определен в 1400–1700 млн. лет. Происхождение ее объясняется последующими процессами метаморфизма и связанным с ними вторичным переотложением минералов. Возраст наиболее продуктивной железорудной формации брокман в Австралии определен в 2000 млн. лет.

К тому же этапу относится образование урановых месторождений района оз. Атабаски в Канаде (1900 млн. лет), пегматитов Украины (1800 млн. лет), криворожской железорудной толщи (1900–1700 млн. лет), аньшаньских железистых кварцитов (1850 млн. лет) и медноколчеданных месторождений Швеции (1700 млн. лет).

В Южно-Африканской Республике возраст 1950 ± 100 млн. лет определен для основных и ультраосновных пород (диабазов и норитов) и красных гранитов Бушвелдского сложнодифференцированного интрузивного комплекса. С комплексом основных пород генетически связаны крупные месторождения платиноидов и хромитов, с красными гранитами – проявления олова, вольфрама, молибдена, висмута, меди и сугубо предположительно – значительные ресурсы плавикового шпата.

В Зимбабве одновозрастен Бушвелдскому лополиту комплекс основных пород так называемой Великой дайки (по последним данным, возраст ее определен в 2932 ± 89 млн. лет), к которой приурочены крупнейшие промышленные скопления хромитов и платиноидов.

Сравнительно небольшие проявления золоторудной и полиметаллической минерализации, возраст которых определен в пределах 1650–1200 млн. лет, установлены в Южной Африке. В Австралии к этому возрасту относятся крупнейшее свинцово-цинковое месторождение Брокен-Хилл (1600 ± 130 млн. лет) и месторождение урана Радиум-Хилл (1540 млн. лет), на Балтийском щите – слюдоносные пегматиты (1520–1280 млн. лет), в пределах Канадского щита – урановые месторождения района Большого Медвежьего озера (1400 млн. лет).

Абсолютный возраст пользующихся мировой известностью сульфидных медно-никелевых руд Садбери в Канаде определен в 1300 ± ± 200 млн. лет, и примерно в то же время образовалась крупнейшая меденосная формация района озера Верхнего в США; несколько позднее образовались серебро-кобальтовые руды Онтарио (1030–920 млн. лет), урановые месторождения района Гренвилл и многие медные и полиметаллические месторождения Канады, полиметаллические месторождения Восточной Сибири, скарновые железорудные месторождения Норвегии (1000 млн. лет), а также месторождения карбонатитов с богатой редкоземельной минерализацией Сан-Бернардино в США.

Один из важнейших докембрийских этапов рудообразования проявился в интервале времени 700–600 млн. лет. К этому периоду относится образование наиболее крупных в мире богатых концентраций меди и кобальта в песчаниках Заира и Замбии (600 млн. лет), уранового место-

4434

Геологический институт КНЦ РАН Библиотека

рождения Шинколобве в Заире (670–690 млн. лет), свинцово-цинкового месторождения Брокен-Хилл в Замбии (660 млн. лет).

Приведенные данные по небольшому количеству разрозненных и случайных замеров абсолютного возраста пород и руд не могут служить основанием для достоверного выделения в докембрийской эпохе определенных этапов рудообразования не только в глобальном масштабе, но даже в пределах отдельных платформ и щитов. Эти данные, однако, убедительно свидетельствуют об исключительно широком и многократном проявлении в докембрийское время процессов рудообразования.

В настоящее время известны докембрийские промышленные месторождения урана, железа, марганца, хромитов, титана, никеля, меди, кобальта, свинца, цинка, олова, золота, платиноидов, серебра, бериллия, лития, тантала, ниобия, редких земель, алмазов, асбеста, мусковита и флогопита (табл. 2). Для образования промышленных месторождений таких полезных ископаемых, как нефть, природный газ, уголь и калийные соли, в докембрийское время, видимо, отсутствовали благоприятные условия.

Незначительные проявления нефти в докембрийских образованиях известны только в США, Канаде и в Советском Союзе. Из них за все время извлечено всего 15 млн. т нефти. В протерозое и, возможно, в архее происходили незначительные накопления угленосных осадков, но в результате позднейших процессов метаморфизма они были преобразованы в графитовые породы. Образовавшиеся в докембрийское время бокситы или бокситоподобные глины в результате интенсивного метаморфизма были превращены в корундовые и кианитовые породы или в высокоглиноземные кристаллические сланцы.

Отсутствие в докембрии месторождений многих видов минерального сырья обусловлено также глубоко проявившимися последующими эрозионными процессами, в результате которых месторождения были полностью или в большей своей части уничтожены. Этим можно объяснить, в частности, редкое нахождение среди докембрийских пород гидротермальных, особенно мезо- и эпитермальных месторождений при исключительно широком развитии гранитоидных пород и генетически связанных с ними месторождений керамических, слюдоносных и реже редкометалльных пегматитов.

За счет разрушения докембрийских эндогенных месторождений позднее образовались экзогенные месторождения, такие, например, как золотоносные и урановосные конгломераты Витватерсранда, медистые песчаники Заира и Замбии.

Наиболее специфическими и широко распространенными рудными образованиями докембрийской эпохи являются железистые кварциты. Они широко развиты на всех древних щитах и платформах, где занимают площади, нередко превышающие 100 тыс. км^2. Формирование их происходило на всем протяжении докембрия. К архейскому возрасту относятся железистые кварциты Сибирской, Южно-Африканской, Австралийской и Индийской платформ, между тем как в пределах Русской, Китайской, Северо-Американской и Южно-Американской плат-

Таблица 2

Распределение докембрийских доказанных запасов и добычи (производства) важнейших видов минерального сырья развитых капиталистических и развивающихся стран по регионам

Полезные ископаемые	Всего		Западная Европа		Азия		Северная Америка		Центральная и Южная Америка		Африка		Австралия и Океания	
	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча
Уран*, тыс. т	1040	22,61	2	–	40	0,16	236	7,75	80	–	452	12,30	230	2,40
Железные руды, млн. т	72230	441,93	3000	28,19	8500	41,12	24000	105,11	15300	115,95	6560	58,30	14870	93,26
Марганцевые руды, млн. т.	2076	9,91	–	–	30	1,80	–	–	50	1,30	1505	5,25	491	1,56
Хромовые руды*, млн. т	3347	4,81	30	0,41	7	0,33	–	–	10	0,45	3300	3,62	–	–
Медь, млн. т.	116,1	2,42	2,1	0,12	7,0	0,02	38,8	0,68	–	0,01	62,7	1,37	5,5	0,22
Никель, тыс. т	12089	269,1	100	6,9	–	–	8634	166,1	–	–	2095	58,9	1260	37,2
Кобальт, тыс. т	947	20,39	20	1,20	–	–	25	2,27	–	–	875	15,17	27	1,75
Свинец, млн. т	24,0	0,77	2,3	0,09	–	–	2,3	0,20	0,6	0,02	3,0	0,07	15,8	0,39
Цинк, млн. т	40,8	1,62	3,7	0,26	–	–	6,5	0,63	2,2	0,07	5,6	0,15	22,8	0,51
Олово, тыс. т	539	18,12	–	–	–	–	–	–	200	7,31	339	10,81	–	–
Вольфрам, тыс. т WO_3	33	1,79	3	0,56	5	0,06	–	–	–	–	25	1,17	–	–
Молибден, тыс. т	125	0,17	10	0,16	–	–	110	–	–	–	–	–	5	0,01
Ртуть*, тыс. т	1	0,10	1	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сурьма*, тыс. т	77	1,15	–	–	–	–	–	–	20	0,02	–	–	57	1,13
Фосфориты и апатиты, млн. т	318	3, 24	10	0,11	8	0,10	–	–	–	–	300	3,03	–	–
Плавиковый шпат, млн. т	147,0	0,52	0,1	–	1,0	0,02	–	–	–	–	145,5	0,50	0,4	–
Асбест*, млн. т	29,5	0,72	0,2	–	1,2	0,03	–	–	3,6	0,15	23,6	0,52	0,9	0,02

* Даны общие запасы.

форм осадки этой своеобразной железорудной формации накапливались преимущественно в нижнем протерозое.

Сравнительно редко промышленные месторождения железистых кварцитов приурочены к древним блокам внутри молодых складчатых областей. В СССР они известны в Восточном Саяне, Тувинской складчатой системе, на Дальнем Востоке (Мало-Хинганский район) и на Южном Урале (Тараташская свита).

Железистые кварциты и связанные с ними богатые железные руды имеют огромное экономическое значение, так как именно они составляют основу железорудной базы мира. Мировые ресурсы железистых кварцитов практически неисчерпаемы: по расчетам ряда исследователей, прогнозные запасы их составляют не менее 3000 млрд. т. Связанные с ними богатые железные руды, как правило, отличаются высоким качеством и образуют крупные залежи с запасами в сотни миллионов тонн. Общие мировые запасы таких железных руд оцениваются в 170 млрд. т, из которых более 68 млрд. т приходится на достоверные (разведанные) запасы. Удельный вес их в мировой добыче составляет 45%.

В СССР, Канаде и США осваиваются промышленностью и железистые кварциты, особенно их магнетитовые разновидности, которые хорошо обогащаются и на многих месторождениях могут разрабатываться наиболее рентабельным открытым способом.

В докембрийское время образовались месторождения железных руд и других генетических типов, также отличающихся крупными масштабами оруденения. К ним, например, относятся пользовавшиеся мировой известностью гистеромагматические месторождения магнетитовых руд Швеции (Кирунавара, Луоссавара и Гелливаре), месторождение метаморфогенных гематитовых руд оз. Стип-Рок в Канаде, Бакальское месторождение сидеритовых руд на Урале, контактово-метасоматические магнетитовые руды Южной Якутии, осадочные гематитовые руды Нижне-Ангарского месторождения Восточной Сибири.

Весьма характерны крупные месторождения титаномагнетитовых и ильменитовых руд, генетически связанные с широко распространенными докембрийскими массивами габбро, габбро-анортозитов и других основных и ультраосновных пород. Особенно крупные ресурсы этих руд выявлены в пределах Северо-Американской платформы, южной части Африканской платформы и Балтийского щита. Титаномагнетитовые руды отличаются почти постоянным присутствием ванадия, содержание которого достигает нескольких процентов. Данные для более или менее приближенного определения возраста месторождений титаномагнетитов отсутствуют, но бóльшая часть их, вероятно, образовалась в позднепротерозойское время.

К докембрию относится значительная часть промышленных руд марганца в зарубежных странах. Они обычно заключены в месторождениях метаморфогенного типа и сопровождаются марганцевыми шляпами с богатыми окисленными рудами. Крупные промышленные месторождения марганца докембрийского возраста встречаются значи-

тельно реже месторождений железных руд и известны только в четырех странах – в Индии, Бразилии, Гане и ЮАР.

В докембрийских месторождениях заключена также бóльшая часть ресурсов хромитов зарубежных стран. Наиболее крупные месторождения сосредоточены в Южной Африке и генетически связаны с основными и ультраосновными породами Бушвелдского комплекса в ЮАР и Великой дайки в Зимбабве. Общие запасы хромитов в зарубежных странах оцениваются в 3406 млн. т, из которых 2300 млн. т относятся к месторождениям Бушвелдского комплекса (ЮАР) и 1000 млн. т к месторождениям Великой дайки (Зимбабве). К докембрийскому возрасту относятся сравнительно небольшие месторождения хромитов Индии, Сьерра-Леоне, а также месторождения низкосортных руд США и Финляндии.

В протерозое образовался ряд уникальных месторождений меди, среди которых по масштабу минерализации и качеству руд особенно выделяется Катанга-Родезийский меденосный пояс в Африке. В медистых песчаниках этого района сосредоточено 90 млн. т меди, несколько миллионов тонн цинка, 1040 тыс. т кобальта и крупные запасы других полезных компонентов.

К протерозойской осадочно-эффузивной толще северной части США приурочено уникальное месторождение самородной меди в районе озера Верхнего в Канаде, давшее за более чем столетний период эксплуатации около 5 млн. т металла. Еще бóльшую ценность в пределах Канадского щита имеет одновозрастное с ним месторождение сульфидных медно-никелевых руд Садбери. Первоначальные общие запасы меди и никеля в рудах Садбери, по-видимому, превышали 10 млн. т, кроме того в них заключалось около 1 млн. т кобальта, крупные запасы платиноидов, золота, серебра, селена и теллура.

Сходные по геологическому строению и характеру минерализации месторождения сульфидных медно-никелевых руд известны также на Балтийском щите, сравнительно небольшие их проявления связаны с Бушвелдским комплексом пород в Южной Африке.

Для докембрийской металлогении весьма характерны месторождения медноколчеданных комплексов руд с запасами меди от нескольких десятков тысяч тонн до 1 млн. т. Известны они только на Северо-Американской платформе и в пределах Балтийского щита. По запасам и качеству руд особенно выделяются месторождения Норанда и Флин-Флон в Канаде, Юнайтед-Верде в США, Оутокумпу в Финляндии и Болиден в Швеции. В Канаде с протерозойским магматизмом связаны месторождения серебро-кобальтовых руд района Темискаминг – Кобальт, которые в прошлом, до открытия кобальта в медистых песчаниках Заира и Замбии, являлись крупнейшим в мире источником этого металла.

Промышленные месторождения свинца и цинка докембрийского возраста встречаются редко, но к ним принадлежат два крупнейших в мире месторождения – Брокен-Хилл в Австралии и Сулливан в Канаде (первоначальные запасы свинца и цинка в каждом из них превы-

шали 20 млн. т). Оба эти месторождения отличались высоким качеством руд и значительными запасами меди, серебра, золота, олова, кадмия, сурьмы и серы. В Австралии известно еще несколько менее крупных месторождений свинцово-цинковых руд докембрийского возраста.

Богатейшие полиметаллические руды в Африке приурочены к протерозойским доломитам Замбии. Первоначальные их запасы превышали 4 млн. т при среднем содержании цинка 29% и свинца 14%. Данные замеров абсолютного возраста ванадийсодержащих полиметаллических руд Цумебского (540 млн. лет) и Абенабского (790 млнт. лет) месторождений Намибии позволили однозначно решить вопрос о докембрийском возрасте этих месторождений.

К докембрийскому возрасту относятся недавно разведанные в СССР месторождения полиметаллических руд – Горевское и Холоднинское.

Промышленные месторождения б о к с и т о в докембрийского возраста неизвестны, но продукты их метаморфизма – корундовые и кианитовые породы – обнаружены в пределах Алданского кристаллического щита и Индийской платформы. Более широким распространением пользуются силлиманитовые гнейсы и кристаллические сланцы, известные почти во всех областях развития докембрийских пород. Промышленностью они еще не осваиваются, но проведенными технологическими испытаниями доказана рентабельность использования некоторых из них в качестве сырья для производства ответственных огнеупорных изделий и сплавов алюминия.

В мировых запасах и добыче о л о в а докембрийские месторождения играют малозаметную роль. Преобладают оловоносные пегматиты с бедной, неравномерно рассеянной минерализацией, которые в практическом отношении представляют интерес только в тех случаях, когда в них наряду с касситеритом присутствуют в достаточных количествах берилл, тантало-ниобаты и литиевые минералы. Крупнейшим в мире месторождением этого типа является Маноно-Китотоло (Заир), запасы олова в котором оцениваются в 140 тыс. т при среднем содержании его в рудах 0,1–0,13%. Аналогичные месторождения, но менее крупные, известны в Зимбабве и в ряде других стран Африки. В Австралии издавна разрабатываются оловоносные пегматиты месторождения Вуджина, возраст которого определен в 2,1 млрд. лет. В ряде стран оловоносные пегматиты явились источниками богатых россыпей касситерита и танталито-колумбитов, весьма рентабельных для промышленного освоения. В последнее время коренные докембрийские проявления олова и связанные с ними обширные россыпи касситерита выявлены в Бразилии (территория Рондония).

К докембрийскому возрасту относится большая часть известных месторождений р е д к о м е т а л л ь н ы х п е г м а т и т о в; особенно широко они распространены в Бразилии, Аргентине, Намибии, ЮАР, Зимбабве, Мозамбике, Заире, Уганде, на Мадагаскаре, в Индии, Канаде, США и Западной Австралии.

Докембрийскими являются большинство редкоземельных пегматитов, распространенных во всех районах развития архейских пород, а

также ряд месторождений пирохлорсодержащих карбонатитов, известных в Норвегии, Швеции, Канаде, ЮАР.

Еще более характерны для докембрийской эпохи рудообразования слюдоносные пегматиты, которые в отличие от редкометалльных пегматитов почти не известны среди более молодых пород. Отчасти это относится и к промышленным месторождениям флогопита, образование которых, судя по известным месторождениям СССР, Канады и Мадагаскара, происходило преимущественно в архее.

Докембрийские месторождения молибдена и вольфрама встречаются исключительно редко. Небольшие месторождения молибдена известны в Норвегии (Кнабен) и Канаде (Ля-Корн). В Канаде известны также золото-шеелитовые и золото-ферберитовые жилы.

Мировое значение имеют докембрийские месторождения золота; среди них уникальный интерес представляют золотоносные конгломераты месторождения Витватерсранд в Южно-Африканской Республике, из которых уже извлечено более 30 тыс. т золота. Это, несомненно, одно из самых ценных в мире месторождений полезных ископаемых, из руд которого, помимо золота, извлекается также значительное количество урана (примерно 3 тыс. т U_3O_8 ежегодно). Сходные, но менее богатые конгломераты разрабатываются в Гане, Бразилии и Канаде.

Более широко распространены докембрийские золоторудные месторождения, представленные золотокварцевыми высокотемпературными гидротермальными жилами и минерализованными зонами. К ним относятся основные месторождения золота Зимбабве, Заира, Танзании, Западной Австралии, Канады, Бразилии, Индии, ряд промышленных месторождений США и в том числе крупнейшее в стране месторождение Хомстейк, на котором добыто более 500 т золота. Значительные ресурсы золота заключены в некоторых докембрийских месторождениях цветных металлов Канады, например в медноколчеданных рудах Норанды, медно-никелевых рудах Садбери и др.

С докембрийским магматизмом генетически связаны крупнейшие в мире концентрации платиноидов, заключенные в сульфидных медно-никелевых рудах Садбери в Канаде и в ультраосновных породах Бушвелдского комплекса в ЮАР. В 1981 г. в этих странах добыто 123 914 кг платиноидов при общей добыче их в капиталистических и развивающихся странах 125 805 кг. Весьма крупные месторождения платины приурочены к ультраосновным породам Великой дайки в Зимбабве, но руды их трудно обогатимы и промышленностью не осваиваются.

Около 60% разведанных запасов урана капиталистических и развивающихся стран заключены в месторождениях докембрийского возраста, в основном в кварцево-галечных конгломератах Канады и Южно-Африканской Республики и гидротермальных трещинно-жильных месторождениях Северной Австралии и Северной Канады.

Коренные проявления алмазов докембрийского возраста известны только в Бразилии, где они представлены глубоко метаморфизованными породами, известными под названием „филлитов". Вопрос о

первичном характере этих пород остается спорным, и только сугубо предположительно они могут быть сопоставлены с кимберлитами. Вместе с тем, наличие алмазов в конгломератах Витватерсранда, в древних кластических образованиях Индии, Австралии, Бразилии и в ряде других районов мира свидетельствует о широком распространении коренных месторождений алмазов в докембрийское время. Некоторые исследователи предполагают, что докембрийские коренные месторождения послужили источником накопления алмазов в россыпях Любилашской провинции в Африке.

К докембрийскому времени относится образование крупных промышленных месторождений а с б е с т а, в том числе хризотил-асбеста, крокидолита и амозита, в южной части Африки – в Зимбабве, Свазиленде и ЮАР. На других континентах промышленная асбестоносность преимущественно связывается с магматизмом более поздних эпох.

Докембрийским является единственное в мире промышленное месторождение к р и о л и т а Ивигтут, расположенное на южном побережье Гренландии.

УРАН

Более половины учтенных в капиталистических и развивающихся странах запасов урана 78-долларовой стоимостной категории относится к докембрийской эпохе рудообразования. Около 33% приходится на долю гидротермальных и инфильтрационных трещинно-жильных и субпластовых месторождений, запасы которых в последнее время значительно возросли в связи с открытием и разведкой новых месторождений в северной Канаде и Северной Австралии. Удельный вес докембрийских ураноносных кварцево-галечных конгломератов снизился до 17%, и 6–7% составляют запасы урана, заключенные в магматических месторождениях (преимущественно в ураносодержащих гранитоидах и пегматитах); увеличение роли этих месторождений связано с открытием их в Намибии. На прочие типы месторождений – скарновые, россыпные, карбонатитовые и др. – приходится менеее 1% запасов.

Многочисленные докембрийские месторождения урана всех указанных типов известны в К а н а д е, где добыча его началась в районе *Большого Медвежьего озера* (Порт-Радий). Оруденение здесь проявлено в форме трещинных жил и зон смятия в докембрийских туфогенно-осадочных породах, прорванных гранитоидами и дайками диабазов докембрийского возраста. Длина рудных зон колеблется от 15 до 210 м при мощности до 1,2 м, редко до 4,5 м. Часто серия тонких жил и прожилков образует небольшие штокверковые участки мощностью до 12 м. Жилы состоят в основном из кварца, карбонатов и гематита. В переменных количествах присутствуют настуран, халькопирит, сульфоарсениды кобальта и никеля, самородные серебро и висмут, пирит, аргентит, галенит и хлорит. Содержание урана в добываемых рудах составляет в среднем 0,3%. Абсолютный возраст настурана, определенный по свинцовому методу, равен 1400 млн. лет. Вскоре месторождение утратило свое

значение в связи с открытием и с ускоренным освоением более крупного ураноносного района *Биверлодж*, расположенного в провинции Саскачеван, вблизи оз. Атабаска. Урановая минерализация здесь приурочена к трещиноватым брекчированным зонам, сопряженным с крупными разломами (протяженностью до 60 км), и проявляется в форме двух генетических типов: пегматитов, содержащих уранинит, и гидротермальных зон с настураном. Вмещающие породы представлены метаморфизованными осадочными образованиями докембрия, причем отмечают, что наиболее благоприятны для концентрации урановой минерализации основные породы, богатые карбонатными и железо-магнезиальными минералами. Определение абсолютного возраста руд по свинцовому методу дает основание предполагать, что минерализация происходила в три периода: 1400–1500, 800– 900 и 200–300 млн. лет назад.

В провинции Саскачеван были известны более 1000 рудных проявлений урана, добыча его производилась на нескольких десятках сравнительно небольших рудников.

Запасы и добыча урана в Канаде особенно возросли после открытия в 1953 г. в провинции Онтарио месторождений района *Блайнд-Ривер*, расположенного на северном побережье оз. Гурон. Продуктивная их толща представлена конгломератами и часто перемежающимися с ними полевошпатовыми кварцитами и аркозами формации матинеида гуронского возраста (нижний протерозой), которые лежат на догуронском (архейском) основании (рис. 3). Более слабой ураноносностью отличаются конгломераты вышележащих формаций – уиски (полимиктовые конгломераты среди аргиллитов, алевролитов, граувакк), твн-мейл (кварциты с тонкими прослоями конгломератов в основании и в кровле), гоуганда (конгломераты, аргиллиты, алевролиты, граувакки) и лорейн (прослои конгломератов в кварцитах). Общая мощность продуктивной толщи протерозоя колеблется от 225 до 1950 м, составляя в среднем 1300 м. Ураноносные конгломераты залегают в понижениях архейского фундамента, прослеживаются на протяжении 130 км при ширине 12–15 км и достигают общей мощности около 100 м.

Отдельные пласты конгломератов, кварцитов и песчаников продуктивной толщи характеризуются невыдержанной мощностью (от нескольких сантиметров до нескольких метров) и часто линзовидной формой с типичной косой слоистостью, что С. Холмс связывает с образованием их в платформенных условиях в речных и дельтовых фациях. Вышележащие горизонты конгломератовой толщи Блайнд-Ривер отличаются более мелкозернистыми фациями осадков, редкими прослоями конгломератов с типичной слоистостью, что позволяет рассматривать их как прибрежно-морские образования.

Продуктивные конгломераты сложены преимущественно кварцевой галькой, сцементированной тонкозернистой кварц-серицит-хлоритовой массой. Среди окатанных и полуокатанных галек диаметром от 0,6 до 1,5 см, реже до 1–15 см преобладают гальки белого и серого кварца, встречаются гальки кварцитов, черного кремня, яшмы и изредка гранитоидов. Цемент конгломератов содержит в переменном количестве пи-

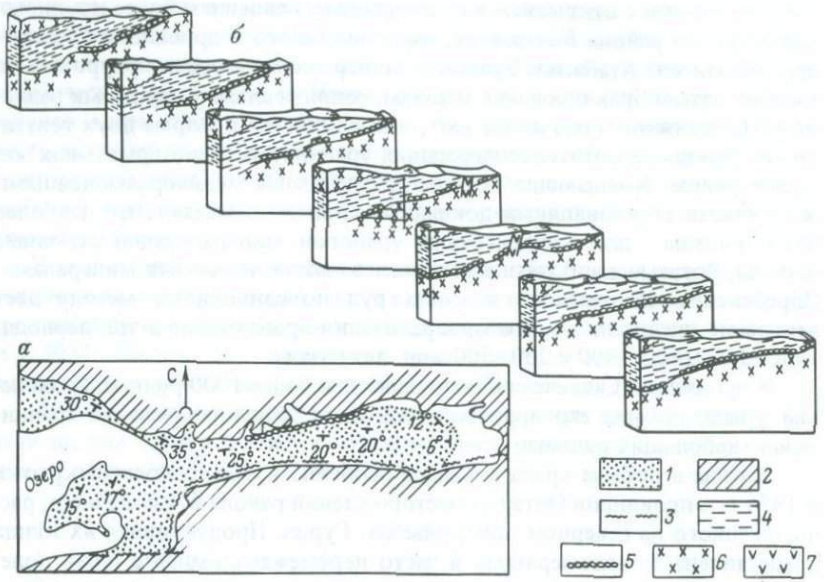


Рис. 3. Урановосный участок Пронто в районе Блайнд-Ривер *(по С. Холмсу)*:

а – обзорная геологическая карта участка; *б* – блок-диаграмма центральной зоны участка; *1* – кварциты с конгломератами в основании; *2* – граниты; *3* – тектонические нарушения; *4* – кварциты; *5* – урановосные конгломераты; *6* – комплекс пород фундамента; *7* – диабазы

рит (в среднем 6%) и в незначительных количествах галенит, пирротин, халькопирит, молибденит, сфалерит, марказит, кобальтин, анатаз, золото; встречаются циркон, монацит, магнетит, титаномагнетит, гематит, касситерит, хромит, сфен, анатаз, рутил и циртолит. Золото в месторождениях Блайнд-Ривер не образует промышленных концентраций.

Урановые минералы представлены преимущественно браннеритом, а также уранинитом и настураном. Присутствует также урановая смолка и, по-видимому, тухолит. Они тонко распылены в цементе конгломератов и встречаются в кварцитах. Зерна браннерита и монацита имеют окатанную форму.

В месторождениях Блайнд-Ривер установлено два промышленных слоя конгломератов, мощность которых обычно колеблется от 1,5 до 10,5 м; падение их преимущественно пологое (10–30°). Длина отдельных залежей по простиранию составляет 2–4 км, по падению они прослеживаются на 3 км. Отдельные рудные залежи, богатые пиритом, содержат до 1,8% U_3O_8, но в среднем на рабочую мощность (4–10 м) содержание U_3O_8 составляет 0,11%. На наиболее крупном участке предприятия „Консолидейт Денисон" руды содержат в среднем 0,14% закиси-окиси урана, и запасы этих руд достигают 137 млн. т. В целом запасы

урановых руд района Блайнд-Ривер оцениваются не менее чем в 325 млн. т; запасы урана (закиси-окиси) 78-долларовой категории превышают 100 тыс. т. Помимо урана, в рудах содержится не менее 100 тыс.т тория, который заключен в ураните, браннерите, монаците. Среднее содержание тория 0,2–0,4% (в южной части Блайнд-Ривер – несколько ниже). Отношение тория к урану в рудах равно 3 : 1.

В непромышленных концентрациях уран и торий содержатся также в верхней части формаций матиненда (0,003%) и уиски (0,0097%).

Абсолютный возраст уранинита и браннерита, как и нижнегуронских урановосных конгломератов, определен в 1700 млн. лет. Возраст древнего обломочного монацита и циркона по соотношению изотопов свинца в них устанавливается в 2500 млн. лет, а на этом основании сторонники осадочного (россыпного) происхождения урановой минерализации, к которым относится большинство исследователей, приходят к выводу, что источниками урановых минералов были более древние породы – предположительно пегматиты, связанные с альгонкскими интрузиями гранитов. Эти минералы накапливались вместе с другими тяжелыми минералами в дельтовых и флювиальных участках. После консолидации этих отложений под воздействием позднейших проявлений метаморфизма обломочные минералы были в значительной степени преобразованы; возраст связанного с ними свинца определен в 600 млн. лет. Об осадочном генезисе оруденения свидетельствует также приуроченность наиболее богатой минерализации к лежачему боку рудного горизонта и к участкам наиболее плотной упаковки галек конгломерата.

В доказательство этой гипотезы приводится характерная для месторождения Блайнд-Ривер последовательность минералов, перечисленных в порядке увеличения размера зерен: уранинит, ураноторит, браннерит, монацит, пирит. Такая последовательность, по мнению С. Роско, соответствует порядку уменьшения удельного веса этих минералов, что свидетельствует о переотложении их водным потоком.

В ряде районов Канады известны месторождения урана пегматитового типа. Наиболее значительные из них – месторождения *Банкрифт, Фарадей* и др. – также расположены в провинции Онтарио. Здесь отдельные поля пегматитов приурочены к гранатовым гнейсам и разнообразным амфиболитам архейского возраста. Пегматиты в форме кулисообразно расположенных жил, косо пересекающих вмещающие породы, сложены в основном микроклином, натриевым плагиоклазом и кварцем. Часто встречаются пироксен и биотит. Вместе с урановыми минералами, представленными уранинитом и ураноторитом, присутствуют пирит, пирротин, магнетит, флюорит, циркон, сфен и кальцит. Промышленная минерализация характеризуется неравномерностью. Разрабатывались рудные участки длиной до 100 м при мощности от 2 до 30 м. Содержание U_3O_8 колеблется от 0,05 до 1%, в среднем составляя 0,11%.

Общие ресурсы месторождений, приуроченных к пегматитам и гранулитовым фациям метаморфических пород докембрия, сравнительно невелики и определяются в 4,4 тыс. т U_3O_8 [36].

По сообщению геологической службы Канады, в 1959 г. общие запа-

сы U_3O_8 в стране составляли 392 тыс. т, причем около 92% из них относились к району Блайнд-Ривер. В 1957 г. в этом районе было сконцентрировано примерно 75% мощности канадских предприятий, производящих урановые концентраты; проектная мощность 11 действующих здесь предприятий достигла 32 тыс. т руды в сутки, или 9–10 тыс. т урана в год.

Существенные изменения в состоянии ресурсов урана в Канаде в последние годы обусловлены выявлением и разведкой в Северном Саскачеване месторождений Рэббитт-Лейк (1968 г.), Клафф-Лейк (1973 г.), Ки-Лейк (1975–1976 гг.) и Мидуэст-Лейк (1978 г.), руды которых отличаются высоким содержанием урана. Все они связаны с зонами дробления, пересекающими песчаники серии атабаска и более древние породы протерозоя.

Месторождение *Рэббит-Лейк* расположено в пределах древнего складчатого пояса в краевой части Канадского щита; оно приурочено к нижнепротерозойским образованиям, которые с региональным несогласием перекрыты среднепротерозойскими слабо дислоцированными песчаниками серии атабаска. Оруденение проявлено в доломитах, подвергшихся интенсивной хлоритизации, гематитизации, карбонатизации, окварцеванию и каолинизации. Урановые минералы, расположенные в порах, пустотах, трещинах и карстовых полостях, представлены урановой смолкой, чернью и коффинитом. В небольшом количестве с ними тесно ассоциируют сульфиды – пирит, марказит и халькопирит. Абсолютный возраст основной массы урановых минералов определяется в 1 млрд. лет. Запасы месторождения составляют 20 тыс. т урана при среднем содержании его в рудах 0,3–0,37%. Бóльшая их часть залегала под озером, которое было осушено для обеспечения возможности открытой разработки; горнодобывающий комплекс вступил в строй в 1975 г.

Рудные тела месторождения *Клафф-Лейк* располагаются в пределах купольной структуры Карсувел. Оруденение локализуется на пересечении трех систем нарушений с региональным сбросом. Уран-полиметаллическая минерализация представлена уранинитом, настураном, коффинитом, тухолитом, сульфидами и селенидами меди, свинца и цинка. Вмещающие породы – пелитовые и песчаниковые фации базальных слоев серии атабаска. Запасы месторождения превышают 20 тыс. т, причем выделена богатая зона „Д" со средним содержанием U_3O_8 8,2% (ее запасы – 7,8 тыс. т); в 1979 г. начата ее отработка.

Месторождение *Ки-Лейк*, расположенное в 160 км от Рэббит-Лейк, характеризуется ураново-никелевой минерализацией при среднем содержании урана 2,5–3,0% (и никеля 1,2–2,7%). Рудные тела располагаются в зонах дробления, прослеживающихся как в песчаниках серии атабаска, так и в кристаллическом основании и контролируются тектоническими и металлогеническими факторами. Первое рудное тело имеет длину 1500 м и мощность 10–40 м, второе – длину 800 м и мощность 10–100 м. Установлена последовательность минералообразования: настуран I, настуран II, коффинит, герсдорфит, миллерит, никколит, пирит, бравоит, галенит, сфалерит, халькопирит, хлорит, кварц,

сидерит, кальцит. Запасы месторождения составляют 58 тыс.т U_3O_8 и 30 тыс. т никеля.

Примерно в 30–32 тыс. т оцениваются запасы урана месторождения *Мидуэст-Лейк*. Оно залегает в песчаниках серии атабаска под озером на глубине 90–130 м от поверхности и простирается в длину до 1700 м при ширине в среднем 82 м и мощности пластов до 15 м; содержание урана – 1,25%.

Для месторождений Рэббит-Лейк, Ки-Лейк, Клафф-Лейк и Мидуэст-Лейк наиболее важен стратиграфический контроль оруденения, поскольку рудные тела находятся вблизи базальных горизонтов серии атабаска и сформировались в результате супергенного обогащения из ураносодержащих нижнепротерозойских пород. Для месторождений этого района характерны такие сопутствующие элементы, как никель, медь, серебро, золото, нередко содержащиеся в промышленных количествах.

Перспективной представляется также нижняя часть толщи протерозойских осадочных пород, залегающих на архейском кристаллическом основании в прилегающих районах. Так, на северном берегу оз. Атабаска в районе Ураниум-Сити открыто месторождение *Маурис-Бей*, где вскрыта зона протяженностью около 350 м, шириной 55 м. Содержание U_3O_8 изменяется от 0,2 до 2,8%, мощность рудных интервалов – от нескольких метров до 18 м.

Сравнительно небольшое месторождение богатых руд (около 10% закиси-окиси урана), приуроченное к базальным горизонтам протерозоя, выявлено в районе Бол. Невольничьего озера, в краевой части Канадского щита. Оруденение представлено настураном и коффинитом с арсенидами, селенидами и самородным золотом. С учетом этих открытий общие перспективы северного Саскачевана и прилегающих территорий Канады представляются весьма значительными. Ожидается, что месторождения Саскачевана в ближайшем будущем станут основной базой урандобывающей промышленности страны.

Пока около половины добычи урана в Канаде (3,5 тыс. т в 1980 г.) сосредоточено в провинции Онтарио, где интенсивно разрабатываются месторождения сравнительно бедных руд. Доказанные запасы урана Канады на начало 1981 г. составляют 230 тыс. т при среднем содержании его в руде 0,12–0,3%.

Многочисленные месторождения урана докембрийского возраста известны почти во всех штатах Австралии. До конца 60-х годов наиболее крупным ураноносным районом являлся *Маунт-Айза* в провинции Клонкарри, где урановая минерализация распространена на площади 16 000 км^2 и приурочена к протяженным тектоническим зонам в докембрийских породах – амфиболитах, песчаниках, кварцитах и известняках. Среди известных здесь многочисленных, преимущественно мелких месторождений *(Андерен, Каунтер* и др.) выделялось одно более значительное – *Мэри-Кетлин*, представленное метасоматической залежью в кремнистых известняках. Как и во всех месторождениях района, основной урановый минерал его руд – настуран, а в зоне окисления, кото-

рая здесь весьма слабо выражена и распространена на глубину нескольких метров, встречается уранофан. Запасы руд месторождения оценивались в 3 млн. т при среднем содержании закиси-окиси урана 0,22%.

Другой крупный урановый район – *Аделаида*, расположенный на юге Австралии вблизи Олари, сложен архейскими гнейсами и протерозойскими кварцитами, метаморфическими сланцами и амфиболитами, прорванными гранитоидами (преимущественно натриевыми гранитами), аплитами и пегматитами. Здесь известен ряд месторождений – *Радиум-Хилл, Маунт-Пейнтер, Крокер-Уэлл, Хоухтон, Мипонга* и др., среди которых самое значительное – месторождение Радиум-Хилл.

Во всех месторождениях района рудные тела представлены жилами мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров и состоят из кварца с переменным количеством биотита, магнетита, гематита, ильменита и рутила. Из урановых минералов преобладает давидит, реже браннерит. Давидит обычно находится в тесном прорастании с ильменитом и рутилом. В зоне окисления, которая прослеживается до глубины 25 м, развиты карнотит, реже торбернит и отенит. Содержание U_3O_8 в рудах колеблется от 0,05 до 0,045%, а после предварительного простейшего обогащения – от 0,6 до 1,7%. Данные о запасах не опубликованы, но, по-видимому, они весьма значительны.

Возраст месторождения Радиум-Хилл, определенный по давидиту, исчисляется в 1540 млн. лет. Урановая минерализация пространственно связана с натриевыми гранитами. Относительно генезиса месторождения существует два мнения. Одни рассматривают жилы как пегматиты, другие считают их высокотемпературными гидротермальными образованиями.

Ряд месторождений урана: *Уайт, Дисон, Эдит-Ривер, Бродрит* и др. – известен в северной части страны, в районе Рам-Джангл. Оруденение в них приурочено к докембрийским углистым и графитовым сланцам и часто проявляется в форме кварцевых жил с сульфидами меди и железа и реже пегматитов. Первичным минералом является уранинит. Месторождения отличаются мелкими масштабами, но обычно высоким качеством руд. Содержание урана в них достигало 0,7, реже 2,5%.

Концентрации урана установлены в рудах докембрийских месторождений других полезных ископаемых, в частности, в рудах известного полиметаллического месторождения Брокен-Хилл.

В Южной Австралии установлены три этапа урановой минерализации. К наиболее древнему (1500–1700 млн. лет) относятся давидитовые руды Радиум-Хилл и давидитсодержащие пегматиты вблизи Крокер-Уэлл. Возраст браннерита из Крокер-Уэлла определен в 580 ± 30 млн. лет, а уранинита из месторождения Николс-Ноб – в 460 ± 90 млн. лет. Перспективные запасы урановых руд Австралии в 1957 г. оценивались в 335 млн. т при среднем содержании U_3O_8 0,3%.

В результате активизации поисковых работ, начавшейся в 1969–1970 гг. при участии иностранных фирм, в стране выявлены новые урановые провинции с крупными запасами.

Более 80% этих запасов сосредоточено в урановой провинции Аллигейтор-Риверс на полуострове Арнемленд (Северная территория), где основными месторождениями являются *Джабилука* – 170 тыс. т урана, *Рейнджер* – 85 тыс. т, *Кунгарра* – 26 тыс. т, Набарлек – 8 тыс. т. Полоса их распространения (примерно 15–16 км) тяготеет к региональному несогласию в основании среднепротерозойских комболиджийских песчаников. Отмечается также пространственная близость месторождений к гранито-гнейсовым комплексам и гранитным массивам. Оруденение проявлено в зонах дробления и брекчирования и ограничено глубиной от 30 до 100 м ниже современной поверхности.

Месторождения характеризуются богатыми рудами, слагающими субсогласные довольно компактные рудные тела в нижнепротерозойских хлоритизированных и графитизированных сланцах формации кулпин. По данным определения абсолютного возраста урановой смолки, минерализация формировалась в две стадии: первая стадия – возраст 850 млн. лет, первичное накопление урановой смолки, вторая стадия – возраст 450–500 млн. лет, переотложение урановой смолки и формирование крупных залежей. Среднее содержание урана в рудах месторождений составляет 0,3–0,4%. Руды отдельных участков наряду с ураном отличаются высоким содержанием золота. На месторождении Джабилука оконтурено 401 тыс. т руды с содержанием 14,64 г/т золота и 118 тыс. т руды с содержанием 11,22 г/т.

Наиболее богатыми рудами (до 25% при среднем содержании около 2% урана) отличается открытое первым (в 1969 г.) месторождение Набарлек. Линзо- и пластообразные рудные залежи его приурочены к слоям относительно слабо метаморфизованных песчаников и конгломератов позднепротерозойского возраста, которые несогласно залегают на кристаллическом основании интенсивно метаморфизованных отложений нижнего протерозоя и перекрыты базальтами. Небольшие рудные тела, представленные крутопадающими жилами, проникают и в кристаллический фундамент; оруденение представлено настураном и золотом.

В 1978 г. в 21 км от месторождения Рейнджер выявлено новое значительное месторождение *Барот*, запасы которого, по оценкам, могут превысить запасы месторождения Рейнджер в несколько раз; содержание урана в рудах около 0,7%, т. е. вдвое больше, чем на подготовленном к первоочередной разработке месторождении Рейнджер (0,35 %).

Бóльшая часть запасов месторождений провинции Аллигейтор-Риверс может отрабатываться открытым способом. Ожидается, что к 1985 г. здесь будут действовать крупные предприятия общей мощностью до 10 тыс. т урана в год, что позволит Австралии стать основным экспортером урана. В 1980 г. в стране произведено 1500 т урана в концентрате.

На территории Африки крупные ресурсы урана сосредоточены в золотоносных конгломератах *Витватерсранда* в Ю ж н о-А ф р и к а н с к о й Р е с п у б л и к е (Ю А Р).

Докембрийские золотоносные конгломераты Витватерсранда состоят из гальки кварца, плотно сцементированной тонким агрегатом квар-

ца, серицита, пирофиллита и хлорита. В них широко проявилась пиритизация, и пирит является наиболее распространенным рудным минералом в составе цемента конгломератов и ассоциирующих с ними кварцитов. Среди урановых минералов главная роль принадлежит уранониту, который встречается здесь преимущественно в виде детритовых зерен овальной формы размером от 15 до 200 мкм (преобладают зерна размером менее 75 мкм в поперечнике). В заметном количестве присутствует тухолит, образование которого обслуловлено процессом замещения уранинита углеводородом. Среднее содержание урана в рудах составляет 0,02–0,04% при колебаниях от 0,006 до 0,06%; достоверные его запасы – 247 тыс. т. Попутная добыча урана из золотоносных руд и переработка старых отвалов осуществляется на многих рудниках: работают 14 обогатительных фабрик. В 1977 г. производство урановых концентратов составило 6 тыс. т по содержанию урана при среднем его содержании в переработанных отвалах и рудах 0,023%. На руднике Бейса уран – основной продукт, а золото – сопутствующий.

В З а и р е до начала 60-х годов разрабатывалось издавна известное месторождение *Шинколобве*. Оно приурочено к западному краю широкой дуги, известной под названием Катангского синклинория, который сложен докембрийскими осадочными породами системы катанга. Комплекс пород смят в складки и нарушен сбросами. Урановое оруденение *проявляется в форме вкрапленности в графитовых сланцах, доломитизированных* известняках и окварцованных доломитах, а также в форме штокверков и серии мелких и средних жил мощностью от нескольких сантиметров до 1 м. Руды отличаются исключительно богатым и разнообразным минеральным составом. В них обнаружено более 60 минералов, в том числе 30 урановых. Основной урановый минерал – уранинит, часто ассоциирующий с сульфидами кобальта и никеля.

Считают, что здесь в определенной последовательности проявилось несколько фаз минерализации. К первой фазе относят замещение магнетитом доломитов вмещающих пород, ко второй – выделение уранинита, к третьей – образование молибденита, монацита и хлоритизацию, к четвертой – выделение сульфидов кобальта и никеля (ваэсит, каттьерит и их разновидности), к пятой – кристаллизацию доломита и халькопирита. Позднее происходило образование зигенита из каттьерита и ваэсита, превращение халькопирита в халькозин и ковеллин, отложение самородного золота, умангита, мелонита и голубого селенида. Месторождение считается гидротермальным. Абсолютный возраст уранинита, по данным различных исследователей, определяется в 585–630 млн. лет.

Начиная с 1921 г. месторождение Шинколобве разрабатывалось для получения радия, и годовое производство последнего составляло 60 т, что соответствует примерно 180 т урана. За все время было добыто около 100 тыс. руды. Добыча осуществлялась хищническими методами: извлекались только руды с содержанием урана, достигающим нескольких процентов, а часто – только с содержанием 19–30%. В связи с этим богатые руды в значительной части выработаны. Официальные данные о запасах, добыче и качестве руд не публикуются. По отдельным сообщениям

печати, запасы месторождения могут быть оценены в 100 тыс. т U_3O_8 при содержании U_3O_8 в рудах 0,1–3,5%.

Значительные ресурсы урана заключены в медно-кобальтовых месторождениях Катанги, руды которых содержат от 0,005 до 0,01%.

Значительным событием было открытие крупного месторождения *Рессинг* в Намибии. Месторождение порфирового типа находится в центральной зоне позднедокембрийского орогенного пояса Домаран и расположено в юго-западной части главной куполообразной структуры в зоне ураноносных мигматитов и аляскитовых гранитов, залегающих в виде узких даек или крупных тел неправильной формы в метаморфических сланцах и гнейсах архея. Постоянство их химического состава дает основание предполагать, что они образовались в результате плавления пород нижележащей формации.

Протяженность рудного поля 8 км при ширине до 1–1,5 км. Сближенные дайковые тела содержат рассеянный уранинит; наиболее ураноносны они в местах пересечения ими кварцево-биотитовых сланцев. Уранинит составляет 55% от общей суммы радиоактивных минералов, бетафит и вторичные минералы – около 6%. Присутствуют также урансодержащие апатит, циркон, сфен; из других рудных минералов встречаются пирит, халькопирит, барит, молибденит, арсенопирит, магнетит, гематит, ильменит, иногда флюорит.

Содержание U_3O_8 в среднем 0,05%, но в участках скоплений вторичных минералов оно достигает 0,5%; запасы месторождения – 117 тыс. т урана. Технология извлечения урана из этих руд достаточно проста; месторождение допускает открытую отработку при практически неограниченном фронте работ – карьер имеет площадь около 5 км^2. В 1980 г. произведено 3,8 тыс. т урана в концентрате.

В Габоне учтенные запасы U_3O_8 (30 тыс. т при среднем содержании U_3O_8 в рудах 0,3–0,4%) сосредоточены в месторождениях района Мунана, приуроченных к горизонту верхнепротерозойских конгломерато-песчаников с прослоями тонкозернистых песчаников. На наиболее крупном месторождении *Окло* в подошве полого залегающего рудоносного пласта, мощностью 5–8 м, преобладают песчаники и конгломераты, в кровле – пелитоморфные песчаники, часто доломитовые. Руды – уран-ванадиевые, в состав которых входят настуран, урановые черни, коффинит и уранованадаты. Годовое производство в стране U_3O_8 в концентрате составляет 1000–1100 т, в том числе более 50% – за счет переработки руд месторождения Окло.

Золотоносные урансодержащие конгломераты, весьма сходные с конгломератами Витватерсранда и Блайнд-Ривер, широко распространены в Бразилии, в районе г. Жакобина (штат Баия). Здесь четыре пласта кварцево-галечных конгломератов с пиритизированным хлорит-серицитовым цементом переслаиваются со сланцами, итабиритами и кварцитами, образуя нижнюю свиту (канус) терригенной серии жакобина протерозойского возраста. Верхняя свита этой серии (серра) представлена кварцитами. Общая мощность терригенных осадков серии жакобина около 600 м.

Промышленной урапоносностью и золотоносностью обладают лишь два горизонта конгломератов (пиритозо и либерино) мощностью до нескольких метров, залегающие в основании свиты канус. Урановая минерализация приурочена к цементу конгломератов. Она представлена в основном уранинитом и так же, как в Витватерсранде, наиболее интенсивно проявляется на участках с высоким содержанием пирита и золота. Руды отличаются весьма изменчивым содержанием урана, которое в целом по району составляет 0,015%. В штате Сеара в 1979 г. выявлена новая провинция, в которой урановое оруденение жильного и вкрапленного типа в ассоциации с фосфатами развито в метаморфических породах докембрия и связывается с посторогенными гранитами. Общие запасы разведанного здесь месторождения *Итатая* оцениваются в 122 тыс. т. Достоверные запасы урана Бразилии составляют 95 тыс. т при содержании его в рудах 0,07–0,12%.

В С Ш А к докембрийскому возрасту относится урановая минерализация известного месторождения серебра *Саншайн*, установленная подземными выработками на глубине 1128 м; она выражена серией мелких жил, мощность которых не превышает 45 см. Возраст настурана, заключенного в рудах, определен в 750 млн. лет. Собственно серебряные руды этого месторождения на основании общегеологических данных относятся к третичным образованиям. Это один из характерных примеров месторождений, на которых проявились разновозрастные рудные процессы.

В странах Азии месторождения урана докембрийского возраста известны только в И н д и и. Многочисленные месторождения преимущественно небольших размеров выявлены во многих районах страны, особенно в штате Бихар. Здесь в округе Сингбхум выделяется полоса урановой минерализации, прослеженная на протяжении около 100 км. К этой полосе, которая сложена различными кристаллическими сланцами, измененными туфами железорудной серии, кварцитами и конгломератами, прорванными гранитоидами, приурочены также промышленная медная минерализация, апатит-магнетитовые и кианитовые месторождения.

Оруденение проявляется в форме минерализованных зон в конгломератах и во вмещающих их хлоритовых сланцах. Основной урановый минерал – уранинит, который в окисленной зоне превращен в отенит, торбернит и метаторбернит. На одном из наиболее хорошо разведанных месторождений – *Джадугуда* – главная рудная зона прослеживается по простиранию более чем на 1000 м при средней мощности 2,4 м. Протяженность других рудных зон измеряется первыми сотнями метров. Содержание урана в рудах колеблется от 0,05 до 1,5%. Минерализация связывается с натровыми гранитами.

Урановое оруденение в Индии широко проявлено также в месторождениях пегматитов, часто слюдоносных. Содержание урана в них отличается исключительной неравномерностью, обычно оно колеблется от 0,003 до 3%, но на отдельных участках достигает 10%, а иногда и более.

Открыты месторождения урана и тория на северо-западе (в 200 км западнее г. Джайпур) и на северо-востоке Индии. Запасы их в 30-х годах оценивались в 3,3 млн. т руды с содержанием ThO_2 10% и U_3O_8 0,3–0,4%. Руды содержат также циркон.

Достоверные запасы урана в недрах Индии составляют 30 тыс. т, а годовое его производство в концентрате – 160 т.

В последнее время рудоносные конгломераты обнаружены в ряде стран и, в частности, новый ураноносный район выявлен в Финляндии. Продуктивная толща пород ятулийской свиты нижнего протерозоя состоит из базальных кварцево-галечных конгломератов, которые выше по разрезу сменяются тонкозернистыми кварцитами общей мощностью 300–400 м, иногда до 1000 м. В поступивших на обогатительную фабрику рудах содержание U_3O_8 составило в среднем 0,2%. Сведения о наличии других полезных компонентов отсутствуют.

В Швеции близ полярного круга выявлено месторождение в породах протерозоя, связанное с проявлением процессов щелочного (натрового) метасоматоза, развивающегося по зонам разломов. На четырех участках оценены запасы – около 10 тыс. т U_3O_8.

ЖЕЛЕЗО

Железистые кварциты и связанные с ними руды

Общие прогнозные ресурсы железных руд докембрийского возраста оцениваются примерно в 3 трлн. т, и все они, за небольшим исключением, сосредоточены в месторождениях железистых кварцитов (джеспилитов, итабиритов, таконитов), к которым обычно приурочены также залежи богатых руд. В общих запасах железных руд капиталистических и развивающихся стран доля железистых кварцитов с содержанием железа в среднем около 28% и богатых руд с содержанием железа 60% достигает 80%. Только достоверные запасы богатых руд, связанных с железистыми кварцитами, составляют 49 млрд. т (около 60% суммарных доказанных запасов железных руд). Этот специфический тип железорудных месторождений широко распространен во всех областях сколько-нибудь значительного развития докембрийских образований и пока обнаружен в послепротерозойских отложениях только на Дальнем Востоке СССР.

Исключительная приуроченность к докембрийским образованиям, огромные масштабы минерализации, не свойственные другим генетическим типам руд, и сходство месторождений, расположенных на различных континентах, являются наиболее характерными особенностями железистых кварцитов и свидетельствуют о весьма идентичных и устойчивых физико-химических условиях, которые существовали во время их формирования во всем мире и, очевидно, не повторялись в более позднее время.

Крупные промышленные месторождения богатых железных руд, связанные с железистыми кварцитами, разрабатываются в Советском Союзе, в Северной и Южной Америке, в ряде стран Африки и Австралии, на территории Индии, КНР и КНДР.

Наиболее значительные ресурсы докембрийских железных руд сосредоточены в Европейской части СССР. Здесь расположены пользующиеся мировой известностью месторождения Криворожского бассейна, месторождения района Курской магнитной аномалии, где выявлены ог-

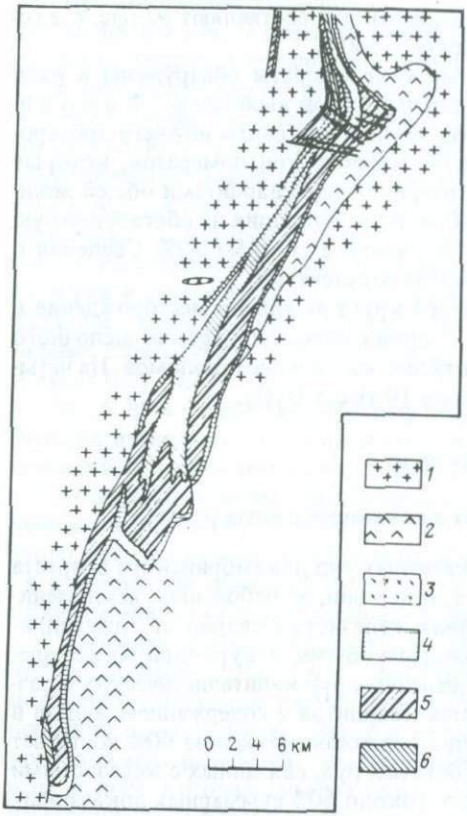


Рис. 4. Обзорная геолого-литологическая карта Криворожского железорудного бассейна

1 – граниты, гнейсы и мигматиты; *2* – зеленокаменные породы; *3* – дайки диабазовые; *4* – аркозы и филлиты нижнего отдела криворожской свиты; *5* – железистые породы: джеспилиты, роговики и сланцы среднего отдела криворожской свиты; *6* – сланцы верхнего отдела криворожской свиты

ромные ресурсы железистых кварцитов и богатых железных руд, а также многочисленные месторождения Карелии и Кольского полуострова.

Криворожский железорудный бассейн, расположенный в пределах Украинского кристаллического массива, занимает площадь более 300 км^2 и включает около 300 рудных залежей приуроченных к протерозойскому складчатому комплексу кристаллических сланцев, железистых роговиков и джеспилитов (рис. 4). Этот комплекс пород, известный как криворожская, или саксаганская, свита, в виде узкой полосы протягивается примерно на 100 км. Интенсивно дислоцированные породы криворожской свиты слагают синклинорий, в пределах которого размещаются крупные структуры второго порядка, осложненные структурами более высоких порядков. Кроме того, складчатые структуры бассейна осложнены большим количеством сбросов и надвигов различной амплитуды.

Продуктивным является средний отдел криворожской свиты, включающий семь-девять чередующихся железистых и сланцевых горизонтов. Сланцевые горизонты сложены алюмосиликатными, железисто-силикатными и магнезиально-силикатными разностями, среди которых в зависимости от степени их метаморфизма выделяются микросланцы, аспидные, филлитовые и кристаллические сланцы. Железистые горизонты представлены магнетитовыми, мартитовыми или мартито-гематитовыми джеспилитами и железистыми роговиками, силикатными роговиками с серицитом, хлоритом, амфиболами, биотитом, гематитом, мартитом и гидрогематитом, магнетитовыми или мартито-гематитовыми

железисто-силикатными роговиками, содержащими хлорит, куммингтонит, актинолит, тремолит, рибекит и серицит.

Железистые породы имеют полосчатое строение, обусловленное сменной прослойков кварца, оксидов железа (магнит, гематит, мартит, гидрогематит) и силикатов (хлорит, биотит). По мощности прослойков они подразделяются на тонкополосчатые (1–3 мм), среднеполосчатые (3–10 мм) и грубополосчатые (более 10 мм). Джеспилиты отличаются от железистых роговиков более тонкой слоистостью и красноватой окраской кварцевых прослойков, объясняемой присутствием в них пылевидных кристаллов гематита и частично магнетита. Внешний облик джеспилита яшмовидный.

По преобладанию рудного минерала железистые кварциты подразделяются на магнетитовые, гематит-мартитовые и гидрогематитовые. При содержании растворимого железа свыше 25%, неглубоком залегании и значительных запасах магнетитовые кварциты имеют промышленное значение. Разведанные запасы таких кварцитов превышают 13 млрд. т при среднем содержании железа 34–35%.

Заключенные среди мощных толщ железистых роговиков и джеспилитов залежи богатых руд, в которых содержание железа достигает 65–70%, характеризуются разнообразными формами, размерами, условиями залегания, минеральным составом и физическими свойствами. Основные их запасы сосредоточены в крупных рудных столбообразных штоковидных (в шарнирах крупных антиклинальных структур) и пластообразных залежах, прослеживаемых на глубину до 2500 м. Значительно менее распространены рудные образования гнездового характера, всегда небольших размеров и изменчивой формы. В общем рудные залежи, несмотря на весьма сложную форму, подчинены условиям залегания вмещающих их пород (рис. 5).

Основными промышленными типами руд в Криворожском бассейне являются следующие:

1) мартитовые и мартит-гематитовые рыхлые (так называемые „синьки") и тонкопористые руды, составляющие свыше 90% учтенных запасов богатых руд бассейна. Они приурочены в основном к Саксаганскому рудному району. Средний состав мартитовых руд отдельных месторождений бассейна следующий: Fe 52,1–64,5%, SiO_2 5,5–11,76%, P 0,028–0,2, Mn 0,06–0,2%, CaO 0,13–1,18%, MgO 0,05–0,1%;

2) магнетитовые руды, распространенные в северной части бассейна и представленные плотными разностями с гематитом и щелочными амфиболами – куммингтонитом, терновскитом, глаукофаном. Реже магнетитовые руды встречаются в южной части бассейна, где они обычно окислены и превращены в бурые железняки. Удельный вес магнетитовых руд в общих запасах богатых руд Криворожского бассейна достигает 8%. Содержание железа в этих рудах составляет в среднем 54% при содержании фосфора не свыше 0,046% и кремнезема не более 13,6%;

3) гидрогематитовые руды, пользующиеся меньшим распространением и приуроченные главным образом к структурам южной части бас-

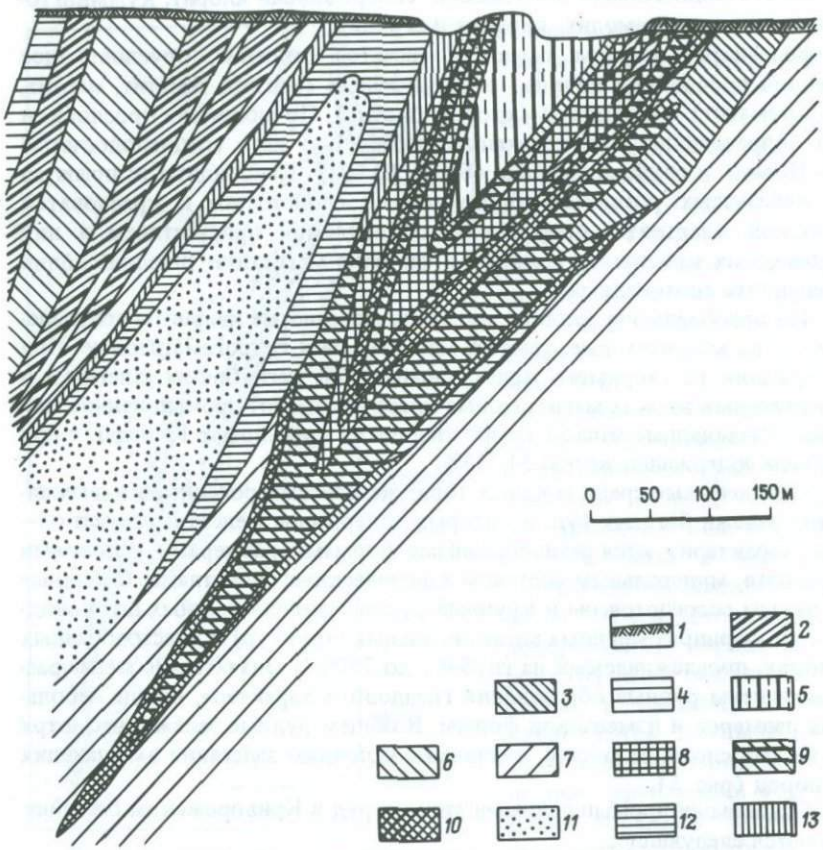


Рис. 5. Геолого-литологический разрез Криворожского железорудного месторождения:

1 – четвертичные и третичные отложения; *2* – роговики мартитовые; *3* – роговики гидрогематит-мартитовые; *4* – роговики гидрогематитовые; *5* – роговики гидрогематитовые с кристаллами мартита; *6* – сланцы кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые, углисто-кварц-серицитовые с прослоями безрудных роговиков; *7* – сланцы кварц-серицит-хлоритовые, кварц-хлоритовые, гидрогематит-хлоритовые с прослоями безрудных роговиков; *8* – руды мартитовые; *9* – руды гидрогематит-мартитовые; *10* – руды гидрогематитовые; *11* – песчаники аркозовые, аркозо-филлиты, филлито-аркозы; *12* – сланцы кварц-серицитовые (филлиты); *13* – сланцы тальковые, хлорито-тальковые, талько-хлоритовые

сейна. Для них характерно несколько повышенное содержание глинозема и кремнезема при колебании среднего содержания железа по отдельным месторождениям от 50,5 до 59,2%. Кроме гидрогематита, руды содержат гематит и мартит. Некоторые разновидности этих руд называются „красками";

4) бурые железняки, в основном сохранившиеся в южной части бассейна и составляющие незначительную долю общих запасов (1,4%).

В целом по Криворожскому бассейну среднее содержание железа в богатых рудах составляет 56,4%, кремнезема 6,4% (при колебаниях от 4,34 до 11,26%), фосфора 0,034% (от 0,021 до 0,072%) и серы 0,045% (от 0,019 до 0,06%). Большая часть гематит-мартит-магнетитовых руд по химическому составу соответствует требованиям мартеновского производства, но в связи с невысокой крепостью только 4% разведанных запасов этих руд могут быть использованы как мартеновские без предварительной агломерации.

В Криворожском бассейне сосредоточено 8,5% разведанных запасов богатых руд Советского Союза, а также крупные запасы магнетитовых кварцитов, которые обогащаются сравнительно простым методом — магнитной сепарацией. Ежегодная добыча богатых железных руд в бассейне превышает 40 млн. т.

Еще более крупные ресурсы железных руд и железистых

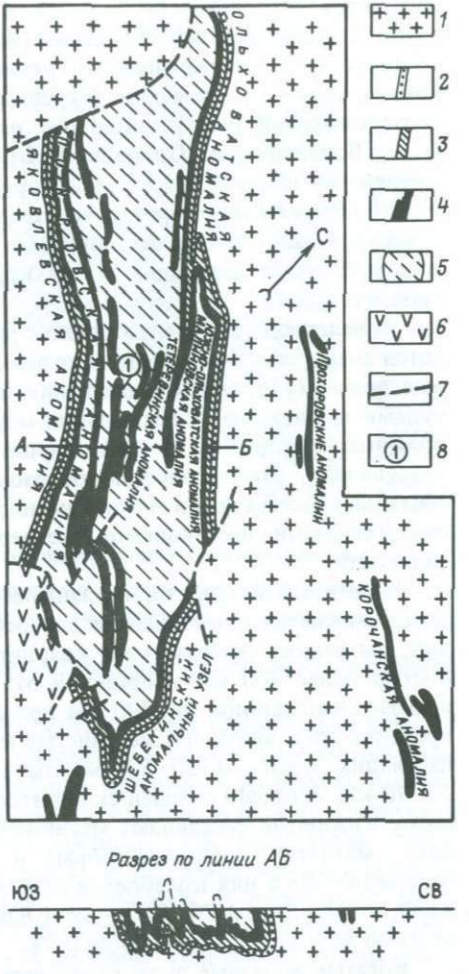


Рис. 6. Схематическая геологическая карта Белгородского железорудного района *(по С. И. Чайкину)*:

1 – гранито-гнейсовый комплекс архея; *2* – горизонт аркозовых кварцитовидных песчаников (*базальный горизонт курской* метаморфической серии); *3* – нижняя сланцевая свита, *4* – железорудная свита; *5* – верхняя сланцевая свита; *6* – предполагаемые ультраосновные породы; *7* – зоны тектонических нарушений (надвиги, сбросы); *8* – Гостищевская аномальная полоса

кварцитов сосредоточены в районах *Курской магнитной аномалии.* В связи с успехами геологических исследований это название уже не соответствует географическому размещению выявленных месторождений и магнитных аномалий. Буровыми скважинами и геофизическими исследованиями они установлены на территории Курской, Белгородской, Воронежской, Орловской, Брянской и Харьковской областей. Оруденение связано здесь с железорудной свитой курской метаморфической серии нижнего протерозоя, сложенной железистыми кварцитами; к верхней части последних приурочены месторождения богатых железных руд, представляющих собой кору выветривания этих кварцитов (рис. 6).

В Белгородском железорудном районе в коре выветривания кварцитов сверху вниз выделяются, по данным С.И. Чайкина (1958 г.), следующие зоны: 1) зона выщелачивания и окисления, сложенная богатыми рудами мощностью от нескольких метров до 200 м; 2) зона мартитизированных кварцитов; 3) зона кварцитов, подвергшихся механическому разрушению. Докембрийские образования перекрываются здесь горизонтально залегающими нижнекаменноугольными, юрскими, меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями различной мощности.

На огромной территории, занимаемой КМА (более 100 тыс. км^2), прослеживаются с перерывами две основные полосы магнитных аномалий, вызванных железистыми кварцитами: северо-восточная протяженностью более 400 км и шириной от 1–2 до 25 км и параллельная ей юго-западная длиной до 700 км при ширине от 2–5 до 30–40 км. В пределах этих аномалий железистые кварциты образуют до семи крутопадающих узких (120–500 м) параллельных полос, вытянутых на 20–70 км согласно с общей складчатостью пород протерозоя. Основную массу кварцитов составляют магнетитовые (мартитовые в зоне окисления), магнетит-железнослюдковые и гематитовые разности. Среднее содержание Fe в них колеблется от 32,0 до 36,0%, SiO_2 – от 39 до 45%, Al_2O_3 – от 1,2 до 1,7%, CaO – от 1,8 до 2,5%, MgO – от 1,9 до 2,6%, S – от 0,008 до 0,83%, P – от 0,06 до 0,1%.

Богатые железные руды отдельных месторождений залегают на глубинах от 60 до 550 м в виде горизонтальных пластообразных и линзовидных залежей длиной от 3,5 до 30 км, шириной от 100 до 3000 м и средней мощностью от 9 до 100–120 м. Особенностью рудных залежей КМА является изменчивый характер их нижней границы: богатые руды в виде языков и карманов уходят местами в железистые кварциты на значительную глубину – до 350–400 м (рис. 7).

К основным рудообразующим минералам относятся мартит, железная слюдка и диспергенный гематит, а в так называемых красковых разностях руд широко развиты гидрогематит и гетит.

Наибольшим распространением пользуются мартит-железнослюдковые разновидности руд, составляющие на некоторых месторождениях до 60% рудной массы. Меньший удельный вес занимают мартит-гидрогематитовые, карбонатизированные (мартит-железнослюдковые, гидроге-

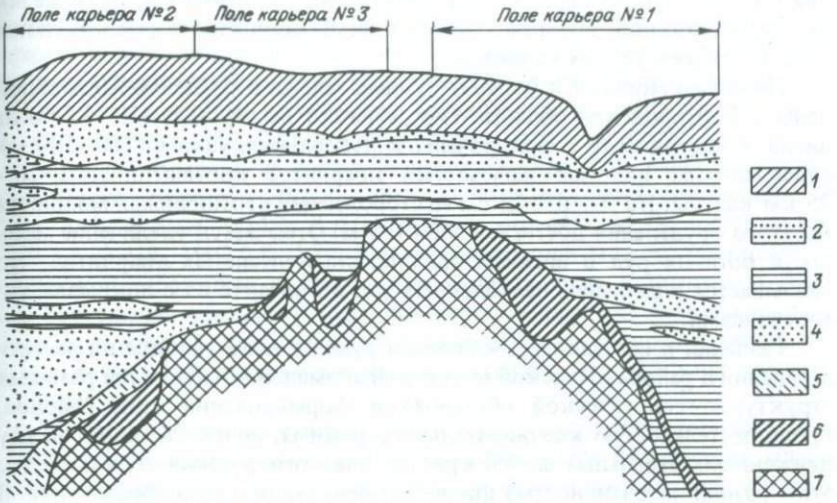


Рис. 7. Разрез Михайловского железорудного месторождения:

1 – суглинки; *2* – глины песчаные; *3* – глины жирные; *4* – пески; *5* – переотложенные руды; *6* – богатые руды; *7* – кварциты

матитовые, гидрогетитовые) и переотложенные (конгломерато-брекчиевые) руды.

Мартит-железнослюдковые руды залегают, как правило, на мартит-железнослюдковых (гематитовых) кварцитах и обычно слагают центральные части залежей. Карбонатизированные плотные руды развиты преимущественно в верхних частях залежей, где они образуют зону изменчивой мощности – от 1 до 140 м. Переотложенные руды представляют собой делювиальные (брекчированные руды) и пролювиально-аллювиальные (конгломератовидные) образования мощностью от нескольких сантиметров до 45 м. Рудные обломки представлены всеми типами руд, слагающих месторождения. Среднее содержание железа в переотложенных рудах 58%.

Среднее содержание компонентов в богатых рудах колеблется в пределах: Fe 50–64% (свыше $9/_{10}$ учтенных запасов богатых руд характеризуются содержанием Fe более 60%), SiO_2 – 3–9%, Ai_2O_3 – 2,5%–6%, S – 0,13–0,84%, P – 0,02–0,09%. По химическому составу эти руды удовлетворяют требованиям, предъявляемым к сырью для мартеновского производства.

Все богатые руды характеризуются высокой пористостью: от 20 до 50%, в среднем более 30%, тогда как у неизменных железистых кварцитов она обычно не превышает 3%.

В верхних горизонтах многих залежей богатых руд интенсивно проявились процессы карбонатизации, обусловленные, вероятно, инфильтрацией углекислых растворов из залегающих над рудной толщей каменноугольных известняков. Сидерит и в меньшем количестве кальцит запол-

няют поры в рыхлых рудах и превращают их в плотную массу. Ниже зоны карбонатизации поры рыхлых руд часто заполнены порошковатыми агрегатами железистых хлоритов.

Наиболее мощные и богатые рудные залежи в пределах КМА выявлены в Белгородской области. Они залегают на глубине 450–500 м от дневной поверхности и приурочены к нескольким узким (300–500 м) параллельным полосам железистых кварцитов протяженностью 20–25 км каждая. На Яковлевском месторождении вертикальная мощность богатого оруденения достигает 350–400 м. Отмечается увеличение мощности богатых руд в висячем боку пласта железистых кварцитов, что связывается с наличием ослабленных зон в контакте их с покрывающими сланцами.

Различия в составе руд, мощности рудных тел и глубине их распространения в районах Курской магнитной аномалии объясняются разными структурно-геологической обстановкой формирования этих районов, продолжительностью континентального режима, соотношениями между движениями отдельных частей кристаллического фундамента и в связи с этим разной интенсивностью процессов денудации и рудообразования. В северных районах, расположенных в пределах южного крыла Московской синеклизы, континентальный период был наименее продолжительным и длился от позднего протерозоя до девона, в то время как в южных районах, приуроченных к северному крылу Днепровско-Донецкой впадины, он продолжался до визе.

Курская магнитная аномалия – крупнейший в мире железорудный район. Разведанные запасы только богатых железных руд на 1/1 1981 г. составляли 7,1 млрд. т. Железные руды отличаются исключительно высоким качеством. Из общего количества разведанных запасов более 50% представлено рудами, не требующими обогащения. Работы по освоению руд Курской магнитной аномалии осуществляются быстрыми темпами.

В *Приазовье* на обширной площади выходят на поверхность докембрийские метаморфические образования, среди которых залегают мощные пачки нижнепротерозойских железистых кварцитов. Основным рудным минералом в них является магнетит, а в пределах зоны окисления мартит и мартитизированный магнетит. Нерудная часть представлена в основном кварцем и пироксеном. На наиболее крупном Мариупольском месторождении среднее содержание в руде железа общего 28–29%, железа магнетитового – 22% (от 16 до 34%).

При обогащении железистых кварцитов извлечение железа в концентрат составляет 72–83%, содержание железа в концентрате 67–69% при его выходе 32–39%.

Сравнительно крупные площади, сложенные железистыми кварцитами и оруденелыми роговообманково-пироксеновыми сланцами, известны в восточной части *Балтийского щита,* в пределах Мурманской области. Здесь ряд месторождений (Оленегорское, Кировогорское, Комсомольское, им. XV годовщины Октября, им. Баумана и др.) приурочен к так называемой „южной" полосе биотитовых гнейсов архея, которая

протягивается в северо-западном направлении через северную часть озера Имандра. Железистые кварциты представлены преимущественно магнетитовыми разностями, иногда с незначительным содержанием гематита. Рудные залежи пластообразной или линзообразной формы залегают согласно с вмещающими их гнейсами. Наиболее крупные залежи достигают по простиранию 1250–2700 м при максимальной мощности 315 м.

Средний химический состав железистых кварцитов наиболее изученных *Оленегорского* и *Кировогорского* месторождений следующий: Fe 32,5–33%, S 0,04–0,11%, P 0,035%, SiO_2 40–44%, Al_2O_3 – 0,25–0,8%, CaO 1,3–2,41%, MgO 0,8–2,8%. Железистые кварциты легко обогащаются магнитной сепарацией и дают высококачественные концентраты. Так, при содержании в исходной руде 32% железа извлечение железа в концентрат, принятое на обогатительной фабрике Оленегорского рудника, составляет 86% при содержании железа в концентрате 60% и выходе концентрата 46%.

Месторождения залегают вблизи от поверхности, и горнотехнические условия их благоприятны для открытой разработки. Разведанные запасы отдельных месторождений этой группы исчисляются первыми сотнями миллионов тонн.

В *Карелии* установлены две полосы развития докембрийских железистых кварцитов: восточная и западная, приуроченные соответственно к Восточной и Западной Карельским синклинорным зонам. Промышленные месторождения находятся в пределах Западно-Карельской зоны (Костомукшское и Межозерское месторождения). В пределах этой зоны широко распространены метаморфизованные архейские образования гимольской серии мощностью около 1000 м. В этой серии пород выделяются три свиты: нижняя, средняя и верхняя. Продуктивна только верхняя свита, сложенная магнетитсодержащими амфиболит-биотитовыми сланцами с крупными залежами магнетитовых кварцитов мощностью до 360 м.

В пределах *Костомукшского* месторождения выявлены две залежи магнетитовых кварцитов пластообразной формы, прослеженные по простиранию до 10 км при мощности рудных пачек от 12 до 20 м, реже – до 240 м. Железистые кварциты месторождения представляют собой тонкозернистые породы полосчатой текстуры. По минеральному составу выделяются магнетит-амфиболовые и магнетит-биотитовые железистые кварциты. Содержание железа в железистых кварцитах от 20 до 40% и кремнезема 46,1–47,2%. На базе Костомукшского месторождения построен горно-обогатительный комбинат годовой производительностью 24 млн. т руды и 9 млн. т окатышей. Разработка месторождения производится открытым способом.

Кварциты *Межозерского* месторождения залегают в виде полос шириной 200–500 м при протяженности рудного поля около 5 км. Размеры залежей колеблются по длине от 200 до 1100 м при мощности от 3–4 до 80 м. На глубину они прослеживаются до 300–375 м. Текстура руд полосчатая. Рудные прослои имеют мощность от сотых долей миллиметра до 10–15 см и на 70–85% сложены магнетитом. Мощность безрудных про-

слоев от сотых долей миллиметра до 10 мм. Рудные минералы представлены в основном магнетитом, а нерудные – в основном кварцем и в меньшей степени силикатами. Зона окисления на месторождении отсутствует. Среднее содержание в рудах железа 32,9%, при колебаниях от 20 до 40%, кремнезема 40–45%.

На *Южном Урале* с докембрийской серией зеленокаменных пород связаны железо-кремнистые отложения тараташской свиты, среди которых залегают железистые кварциты. Здесь на территории Челябинской области выявлен ряд участков и месторождений железистых кварцитов, к которым приурочены месторождения *Радостное, Магнитный ключ* и др.

В *Центральном* и *Южном Казахстане* месторождения железистых кварцитов приурочены к метаморфическому комплексу пород верхнего протерозоя. Рудные тела в форме сложных пластообразных залежей иногда обнажаются на поверхности.

В последние годы на *Сибирской платформе* выявлены огромные области развития железистых кварцитов. Здесь в архейских отложениях Чаро-Токкинского района Якутской АССР и Каларского района Читинской области выявлены железистые кварциты, слагающие две рудоносные пачки мощностью до 300–350 м. Мощность пластов магнетитовых кварцитов изменяется от 1–2 м до 40–60 м. Падение их почти вертикальное. Рудоносные пачки прослеживаются по простиранию на 40 км в Чаро-Токкинском (Тарынахское и Ималыкское месторождения) и на 25 км в Каларском районе (Сакуканское и Сулуматское месторождения). Кварциты легко обогащаются.

В США большое экономическое значение имеют месторождения железных руд района озера Верхнего, расположенные в северной части страны, на границе с Канадой. США в течение многих лет занимали первое место в мире по добыче железных руд. За все время эксплуатации (примерно с 1854 г.) здесь было добыто более 4000 млн. т богатых руд, а годовая добыча иногда достигала 97 млн. т (1953 г.), или 25% мировой добычи. За длительный срок эксплуатации бóльшая часть запасов высокосортных руд (со средним содержанием железа 50–58%) отработана, но оставшиеся запасы по разным оценкам составляют от 2,6 до 6 млрд. т. Кроме того, здесь сосредоточены крупные ресурсы бедных руд – железистых кварцитов (таконитов), содержащих в среднем 27% железа. Потенциальные запасы железистых кварцитов оцениваются в 40–65 млрд. т. Разработка их началась в 1954 г. и осуществляется в сравнительно большом объеме.

Железорудные месторождения района озера Верхнего приурочены к южной окраине Канадского щита и широко распространены как в пределах США, так и на территории Канады. В США они разрабатываются в штатах Миннесота (группы Месаби, Вермильон и Куюна), Мичиган (группы Маркетт, Миномини, Пеноки-Годжебик) и Висконсин. Большинство известных здесь залежей железных руд приурочено к осадочным отложениям гуронской серии, представленным полосчатыми и железисто-кремнистыми сланцами, яшмами, граувакками, филлитами, известняками и

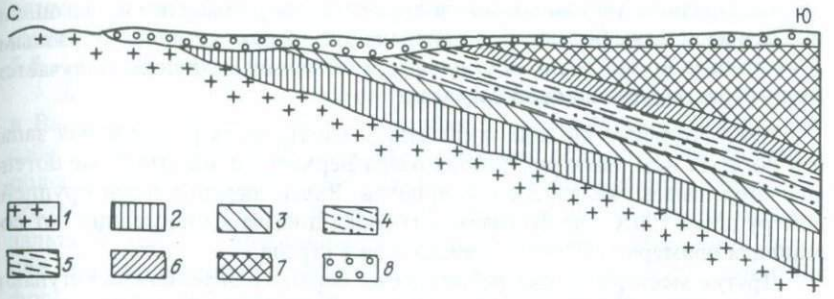


Рис. 8. Схематический поперечный разрез кряжа Месаби:

1 – граниты; *2* – кварциты; *3–6* – отложения железорудной формации: *3* – нижний кремнисто-роговиковый горизонт, *4* – нижний сланцевый горизонт, *5* – верхний кремнисто-роговиковый горизонт, *6* – верхний сланцевый горизонт; *7* – сланцы; *8* – ледниковые наносы

конгломератами общей мощностью до 5000–7000 м. Местами они перекрыты базальтовыми лавами и грубозернистыми красными полевошпатовыми песчаниками серии кьюино, реже отложениями мелового возраста. Широко распространены ледниковые отложения, которые часто образуют весьма мощные покровы, местами препятствующие открытой добыче железных руд и затрудняющие их поиски.

О масштабах минерализации и характере ее проявления можно судить по наиболее крупному в этом районе месторождению хребта *Мёса́би* (рис. 8). Здесь железорудная формация среднегуронского возраста (бивабикская свита) прослежена по простиранию на 145 км при ширине от 3 до 16 км. Она включает четыре продуктивных горизонта, суммарная мощность которых часто превышает 200 м. Залежи богатых руд приурочены преимущественно к мелким пологим синклинальным складкам и характеризуются пластовой или пластообразной формой. Нередко встречаются также рудные тела жильного типа, приуроченные к системам трещин и плоскостям разлома в железистых кварцитах.

Руды обычно рыхлые и пористые, состоят главным образом из гематита с небольшим количеством магнетита, а иногда и бурого железняка. Они отличаются высоким качеством: среднее содержание Fe в них составляет 50–58%, SiO_2 4–8%, P 0,03–0,07%.

Железистые кварциты кроме кварца и оксида железа содержат карбонаты и железосодержащий силикат гриналит. Среднее содержание Fe в них составляет 27%, SiO_2 51,3%, Al_2O_3 1,8%, MgO 2,8%, CaO 1,1%, CO_2 5,0%, P 0,035%. Железистым кварцитам свойственна полосчатая или ленточная текстура; частые прослойки руды чередуются с прослойками кварца. Толщина этих прослойков колеблется от миллиметров до нескольких сантиметров.

Оксиды железа в составе железистых кварцитов часто находятся в тонкорассеянном состоянии и в тесном срастании с кремнеземом, поэтому обогащение их требует применения сложной технологической

схемы. Однако с учетом возможности открытой разработки промышленное освоение этих бедных руд признано экономически целесообразным. В настоящее время после обогащения железистых кварцитов получается концентрат, содержащий 63% железа.

Месторождение Месаби заключает бо́льшую часть разведанных запасов богатых железных руд района озера Верхнего и значительные потенциальные запасы железистых кварцитов. Здесь сосредоточены крупнейшие рудники США, где суммарная годовая добыча до последних лет составляла примерно 60% от общей добычи в стране.

Другие месторождения района озера Верхнего значительно уступают месторождению Месаби по масштабам оруденения и объему добычи железных руд; суммарные запасы их не превышают нескольких сотен миллионов тонн. От месторождения Месаби они несколько отличаются геологическим строением и нередко формой и минеральным составом рудных залежей.

Рудные залежи месторождения *Вермильон* приурочены к суданской железистой формации архейского возраста, представленной пластами и линзами яшмовидных массивных и полосчатых кремнистых роговиков с прослойками гематита и магнетита. Богатые руды слагают преимущественно крутопадающие неправильной формы штоки и линзы и состоят из гематита при обычно незначительном содержании кварца, хлорита, пирита, арагонита и сидерита.

Железные руды месторождения *Куюна* приурочены к двум железистым формациям верхнегуронского возраста – вирджинской и залегающей над ней дирвудской. Характерная особенность этого месторождения – наличие значительных запасов марганцовистых руд, в которых среднее содержание железа составляет 37–40%, марганца 8–10%, фосфора 0,23–0,27%.

Марганецсодержащие железные руды характерны также для месторождения *Миномини.* Разновидности этих руд содержат 41–48% железа и 3,2–9,8% марганца. Здесь разрабатываются и более богатые гематитовые руды, в которых содержание железа составляет 50–54%, кремнезема 7–10%, фосфора 0,05–0,5%. В рудах часто отмечается значительное содержание кальция и магния. В минералогическом отношении они представлены гематитами и гидроксидами железа с переменным содержанием кварца, кальцита, доломита, пирита и хлорита.

Весьма сложным геологическим строением отличается месторождение *Маркетт.* Здесь оруденение приурочено к трем геологическим формациям (сланцам сиамо, железистой формации нигони и гудрическим кварцитам) верхнегуронского возраста, которые в районе месторождения слагают синклинальную складку, осложненную мелкими складками и сбросами и прорванную дайками и пластовыми интрузиями диабазов и диоритов. Рудные залежи в форме штоков и линз приурочены преимущественно к синклинальным складкам железистой формации нигони, к местам пересечения ее диабазами и диоритами и к контактам ее со сланцами сиамо. Руды месторождения сложены в основном гематитом, реже

встречаются магнетитовые разности и бурые железняки. В добываемых рудах содержание железа колеблется в пределах 50–58%, кремнезема 5,5–11%, фосфора 0,04–0,5%.

Железистая формация айронвуд, распространенная в штатах Мичиган и Висконсин, сопоставляется с бивабикской свитой месторождения Месаби и также относится к среднегуронскому возрасту. Она состоит из полосчатых железистых и карбонатных роговиков и сланцев общей мощностью 180–270 м, прорванных многочисленными дайками диабаза и базальта. К местам пересечения этих даек с породами железистой формации обычно приурочены богатые руды, залегающие в виде неправильной формы лина и гнездообразных скоплений. Основной рудообразующий минерал представлен магнетитом, менее распространены гематит, пирит и сидерит. Из силикатов железа встречены стильпномелан и миннесотаит – $(Fe,Mg)_3Si_4O_{10}(OH)_2$.

На месторождении *Пеноки-Годжебик* по химическому составу выделяются два типа железных руд: богатые с содержанием железа 52–58%, кремнезема 5–9%, марганца 0,2–0,8% и маргенцовистые с содержанием железа 25–49%, марганца 3–4%, фосфора 0,07%.

Общие запасы железных руд США, сосредоточенные в основном в докембрийских месторождениях, оцениваются в 17,3 млрд. т, из них доказанные составляют 10 млрд. т при среднем содержании железа 29%. В 1980 г. добыто 70,4 млн. т товарной руды.

Значительными ресурсами докембрийских железных руд обладает К а н а д а. Общие запасы их (включая железистые кварциты) оцениваются в 33,6 млрд. т, доказанные запасы составляют 18,7 млрд. т.

Крупнейший железорудный район Канады – *Лабрадор – Нью-Квебек* – расположен в Лабрадорской впадине, выполненной осадочно-вулканогенными образованиями системы каниапискау альгонкского (протерозойского) возраста. Комплекс этих пород, залегающих на древних архейских гнейсах, образует пояс шириной от 15 до 100 км (в среднем 60 км) и длиной около 1200 км.

В северной части Лабрадорской впадины рудоносна формация сокоман, которая прослеживается здесь на протяжении 145 км при максимальной ширине 22,5 км. К ней приурочены залежи богатых, преимущественно гематитовых руд пластообразной формы, часто большой протяженности, залегающие среди железистых кварцитов и образующие серию линейно вытянутых тел, параллельных общему простиранию пород и осям складок. Руды отличаются высоким качеством. Среди них выделяются руды бессемеровские, небессемеровские и марганцовистые. Среднее содержание железа в рудах различных типов колеблется от 50 до 61%, марганца – от 0,29 до 7,64%, фосфора – от 0,03 до 0,12%, кремнезема – от 7,92 до 8,71 и глинозема от 0,59 до 1,47%. Бóльшая часть выявленных ресурсов железных руд сосредоточена в месторождениях, расположенных вблизи оз. Ноб-Лейк, где полоса распространения железистых кварцитов имеет длину около 130 км при ширине до 10 км.

В южной части Лабрадорской впадины продуктивна формация уобуш, которая заключает преимущественно низкосортные руды, со-

стоящие в основном из кварца, спекулярита, магнетита, грюнерита и других силикатов железа. Здесь разведан ряд крупных месторождений. Среди них по масштабам оруденения и качеству руд выделяется месторождение *Джулиэн-Лейк*, общие запасы которого оцениваются в 1 млрд. т при среднем содержании в них железа 36%. Преобладают крупно- и среднезернистые гематитовые руды, реже встречаются рыхлые мартитовые и гетит-лимонитовые разности. Предполагается сооружение горно-обогатительного комплекса производительностью 9 млн. т товарной продукции (концентраты и окатыши) в год, которая будет транспортироваться по трубопроводу протяженностью 340 км в Пуэнт-Мармит для экспорта в Японию и страны Западной Европы.

Наиболее крупным горно-обогатительным предприятием является *Маунт-Райт* проектной годовой мощностью 45 млн. т сырой руды с содержанием 31,4% железа или до 18–20 млн. т концентрата с содержанием 66% железа.

Потенциальные запасы железных руд Лабрадорской впадины оцениваются в 10 млрд. т.

Сравнительно крупные запасы железных руд альгонкского возраста (2750 млн. лет) выявлены в районе *Мичипикотен* (провинция Онтарио), где промышленное оруденение приурочено к брекчированным зонам на контакте полосчатых, часто железистых кварцитов с кислыми пирокластическими породами серии киватин (2600 млн. лет). Руды месторождений, в которых основными минералами являются гематит и сидерит, отличаются невысоким содержанием железа (30–40%) и нуждаются в обогащении.

Формации железистых кварцитов известны в протерозойских образованиях ряда других районов Канады, в частности в Юконе, Северо-Западных территориях и особенно на полуострове Унгава, но они изучены недостаточно и достоверные запасы их не определены.

Производство товарной руды в стране достигло 50,9 млн. т в 1980 г.

Огромные ресурсы железных руд заключены в докембрийских отложениях Южно-Американской платформы. Особенно широко железорудные формации докембрия распространены на территории Бразилии, которая по потенциальным запасам железных руд занимает первое место среди капиталистических и развивающихся стран и, несмотря на сравнительно низкую геологическую изученность месторождений, располагает весьма значительными достоверными запасами. Наиболее крупные разведанные месторождения сосредоточены в штате Минас-Жерайс, в так называемом „железорудном четырехугольнике", где они приурочены к протерозойской серии метаморфических пород минас, включающей горизонт тонкополосчатых железистых кварцитов – итабиритов.

В верхних частях серии минас широко развиты маломощные, но выдержанные по простиранию пласты итабиритов, которые в отличие от итабиритов основного горизонта обычно содержат большое количество карбоната. Основной горизонт итабиритов отличается весьма изменчивой мощностью, нередко меняющейся от нескольких метров от 1200 м. Он распространен на огромной площади, которая только в центральной

части Минас-Жерайс составляет более 7 тыс. км². Площади развития итабиритов и эрозионные останцы этих пород известны во многих районах Бразилии и в прилегающих странах Южной Америки, что свидетельствует о региональных условиях образования этой формации.

Итабириты представляют собой железистые кварциты с типичной полосчатой текстурой, обусловленной чередованием тонких (от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров) кварцитовых и железистых слоев. Кварцитовые слои слагаются угловатыми зернами кварца, обычно с небольшой примесью гематита и в меньшей степени-лимонита. Железистые слои представлены в основном гематитом и переменным количеством лимонита и кварца, а иногда содержат хорошо ограненные кристаллы мартита и магнетита, а также доломита (высокое содержание последнего наблюдается в тех случаях, когда итабириты ассоциируют с доломитами).

Содержание железа в неизмененных итабиритах колеблется в широких пределах. Иногда оно достигает 45%, но в среднем не превышает 30%. Выщелачивание из этих пород в условиях выветривания кремнезема и других легкорастворимых компонентов приводит к значительному повышению в них содержания железа (до 66%). Породы при этом становятся пористыми, хрупкими и часто весьма мягкими. В среднем содержание железа в обогащенных естественными процессами итабиритах колеблется от 45% на глубине до 55% и редко более вблизи поверхности. В некоторых разрабатываемых месторождениях встречаются руды с более высоким содержанием железа. Так, отдельные разновидности руд месторождения *Итабирито Пик* содержат Fe 69,4% и менее, SiO_2 0,24%, P 0,0024%; месторождения *Гандарелла* – Fe 68,4%, SiO_2 1,13%, MnO_2 0,74%; месторождения *Викоза* – Fe 69,3%, SiO_2 2,57%, MnO_2 0,32% и P_2O_5 0,063%.

Богатые разности итабиритов широко развиты вблизи поверхности и нередко распространяются до глубины 100–200 м. Среди неизменных итабиритов они образуют линзы и пластообразные залежи, мощность которых изменяется от нескольких сантиметров до 100 м. Общие запасы итабиритов не подсчитаны. Только для штата Минас-Жерайс они ориентировочно определены в 35 млрд. т, что, вероятно, составляет лишь часть потенциальных ресурсов этого штата. Кроме того, значительные площади развития итабиритов имеются в штатах Мату-Гросу, Гояс, Баия и на территории Амапа.

Весьма крупным железорудным районом является *Морро-ду-Урукум* в штате Мату-Гросу. Здесь железорудная формация мощностью более 300 м установлена на площади 1000 км². Железистые кварциты и линзы более богатых руд залегают среди кластических пород, представленных яшмами, песчаниками, аргиллитами и несколькими горизонтами внутриформационных конгломератов.

Для железорудной формации морро-ду-урукум характерно наличие в ее основании одного или нескольких пластов марганцевых руд общей мощностью до 6 м. Руды отличаются высоким качеством и содержат в среднем 45,6% марганца. Низы железорудной формации представлены ге-

магнетитсодержащими яшмовидными кварцитами мощностью около 90 м, отличающимися пизолитовой структурой и отсутствием полосчатости. Постепенными переходами они связаны с нижележащими аркозовыми песчаниками, конгломератами и аргиллитами с характерной косой слоистостью и обильными следами ряби.

Разработка железистых руд в Бразилии осуществляется только на месторождениях штата Минас-Жерайс. Разрабатывается выветрелый, обогащенный за счет выноса кремнезема итабирит, часто представляющий собой рудный песок (местное название „якутинга"), а также особая разновидность железной руды – канга, т. е. обломочные образования выветрелого итабирита. Покровы этих обломочных руд мощностью до нескольких метров занимают на некоторых месторождениях огромные площади и служат объектом первоочередной добычи, так как отличаются благоприятными горнотехническими условиями разработки и высоким качеством. Руды канга так же, как и руды якутинга, местами содержат некоторое количество золота.

Одно из крупнейших в стране месторождение Серра-дус-Каражас открыто в 1967 г. в труднодоступном районе бассейна р. Амазонки (штат Пара). Запасы железных руд его оцениваются в 17,9 млрд. т при среднем содержании железа более 60% и 32 млрд. т при содержании 44–54%. Запасы итабиритов, намного превышающие запасы богатых руд, не определялись. Район месторождения сложен наиболее древним в стране комплексом, представленным гнейсами, гранитами, мигматитами и амфиболитами, абсолютный возраст которых определен в 3,3 млрд. лет. В штате Пара известен ряд аналогичных по геологическому строению и составу месторождений железных руд.

Прогнозные ресурсы железных руд Бразилии оцениваются в 80 млрд. т; общие их запасы составляют 48 млрд. т, из них доказанные 15 млрд. т руд, содержащих в среднем 58% железа. В 1980 г. в стране произведено 107 млн. т товарной руды (в 1960 г. – 9 млн. т). Мощность наиболее крупного рудника Кауэ достигла 46 млн. т, а добыча составляет 40 млн. т сырой руды или 34 млн. т товарной.

Железорудные формации, сходные с описанными выше, известны в ряде других районов Южно-Американской платформы, в том числе в пределах Гвианского щита. На территории Венесуэлы выявлены крупные месторождения железных руд, расположенные в поясе длиной 249 км, который протягивается от южного берега Ориноко на юго-запад вдоль р. Карони. Здесь железистые кварциты и связанные с ними залежи богатых железных руд приурочены к серии иматака нижнеальгонкского возраста, сложенной различными кристаллическими сланцами и гнейсами.

Общие запасы железных руд Венесуэлы пока еще невелики и составляют 2,3 млрд. т. Дальнейшее изучение районов развития железорудной формации приведет к значительному увеличению разведанных запасов. Добыча железных руд в Венесуэле в 1975 г. достигла 24 млн. т и снизилась до 14 млн. т в 1980 г. Добываются только богатые гематитовые руды, содержащие до 68% железа при ничтожной примеси серы и фосфора, не превышающей 0,03%.

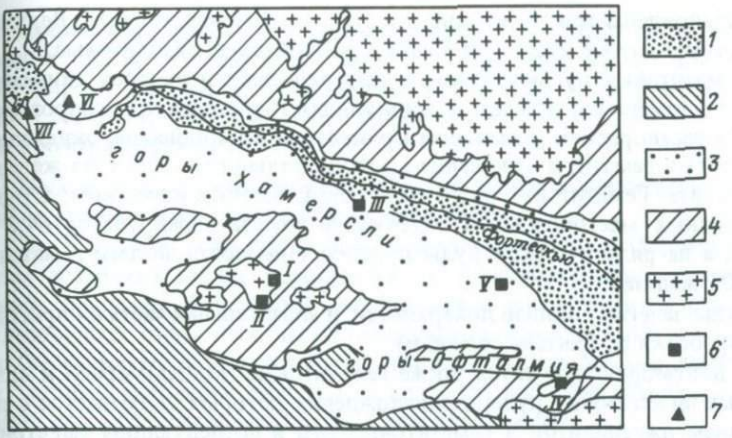


Рис. 9. Схематическая геологическая карта железорудной провинции Хамерсли:

1 – мезо-кайнозойские отложения; протерозойские отложения группы: *2* – уайлу; *3* – хамерсли, *4* – фортескью; *5* – архейские отложения; *6* – гематитовые месторождения: I – Маунт-Том-Прайс, II – Парабурду, III – Уиттенум, IV – Маунт-Уэйлбэк, V – Род-Ридж; *7* – лимонитовые месторождения; VI – Маунт-Энид, VII – Дипдейл

Месторождения итабиритов известны также на территории Боливии, где они расположены на границе с Бразилией, на продолжении рудоносной площади месторождения Мату-Гросу.

В последние годы важное экономическое значение приобрели открытые, разведанные и освоенные промышленностью месторождения железных руд в Западной Австралии, и страна за необычайно короткий срок заняла одно из ведущих мест в капиталистическом мире по их ресурсам и добыче. Подавляющая часть этих ресурсов сосредоточена в бассейне Хамерсли, площадью 80 тыс. км², сложенном преимущественно согласно залегающими протерозойскими метаморфизованными осадочными и эффузивными породами общей мощностью около 11 тыс. км² (рис. 9).

В его пределах четко выделяются три основные железорудные формации:

– марра-мамби (нижняя), почти целиком состоящая из кремнистых сланцев и джеспилитов общей мощностью 200 м, к которым приурочен ряд крупных месторождений богатых руд (62–63%), в том числе *Маранду;*

– брокман (средняя, 2000 ± 100 млн. лет), целиком сложенная полосчатыми джеспилитами мощностью 650 м, к которым приурочены основные эксплуатируемые месторождения *Маунт-Том-Прайс, Парабурду, Маунт-Уэйлбэк, Роб-Ривер* с запасами руд 1–2 млрд. т каждое, а также ряд крупных подготовленных к разработке месторождений;

– булджида (верхняя), сложенная джеспилитами и железистыми сланцами, мощностью около 200 м.

Установлены три разновидности руд: гематитовые типа руд Верхнего озера, гематитовые руды типа Канга и лимонитовые пизолитовые.

Гематитовые руды связаны с джеспилитами всех трех формаций. Они образовались в результате циркуляции грунтовых вод, сопровождавшейся растворением и выносом кремнезема и карбонатов, окислением магнетита в гематит и отложением дополнительного количества железа в виде гетита. Гематитовые руды отличаются высоким качеством; в рудах разведанных месторождений содержание железа варьирует от 64,2 до 67,0%, а на ряде участков руды представлены почти чистым гематитом (до 70% железа).

Руды залегают вблизи поверхности, и значительная часть их пригодна для отработки открытым способом.

К докембрию относятся также гематитовые конгломераты и лимонитовые пизолитовые руды, происхождение которых связывается с разрушением джеспилитов и гематитовых руд и последующим выветриванием и переотложением интегрированных продуктов разрушения.

Конгломераты сложены угловатыми обломками гематита, сцементированными пизолитами, стекловидным гетитом или лимонитом. Хотя содержание железа в конгломератах достигает 60% и суммарные запасы их достаточно велики, самостоятельных месторождений они не образуют и могут использоваться при разработке гематитовых руд, с которыми они обычно ассоциируют. Большой практический интерес представляют лимонитовые пизолитовые руды, наиболее широко развитые в западной части провинции, где они сохранились в виде покровов на плоских останцовых возвышенностях и террас вдоль долин. Длина отдельных останцов достигает 10 км при ширине 3–5 км и мощности до 30 м. Состоят они из лимонита, гетита и небольшого количества гематита. В рудах разведанных месторождений среднее содержание железа составляет 53,0–56,5% и менее 10% суммы кремнезема и глинозема. Все они могут разрабатываться открытым способом при ничтожном объеме вскрышных пород. Наиболее крупное месторождение лимонитовых руд *Роб-Ривер* разрабатывается с 1973 г. Общие запасы его руд, содержащих 50–60% (в среднем около 55%) железа, составляют 3 млрд. т. По данным Р.У. Марсдена, в районе Яампи Саунд пласты гематитовых руд, иногда конгломератовидные и ассоциирующие с гематитовыми песчаниками, заключены в толще кварцитов, песчаников, конгломератов и сланцев. В этих рудах наблюдаются волноприбойные знаки и косая слоистость. Они состоят из оолитов, сложенных гематитом, сидеритом и шамозитом. Присутствуют округлые обломки кварца, циркона, турмалина. Возраст руд датируется примерно 1800 млн. лет, а возраст сходных руд в ряде других районов определен в 1400 млн. лет.

В последнее время разведано месторождение пизолитовых железных руд Янкуджина, доказанные запасы которого превышают 1,2 млрд. т. Завершена программа бурения (2500 м скважин, пробуренных ударным бурением, и 1500 м – алмазным бурением). Мощность пласта для большей части месторождения составляет 40–50 м, а мощность вскрышных пород – 0–12 м. Руда со средним содержанием 58,7% отличается низкими примесями фосфора и Al_2O_3.

Прогнозные запасы железных руд Австралии оцениваются в 30–35 млрд. т. Общие их запасы составляют 21,6 млрд. т, из них доказанные 14,9 млрд. т при среднем содержании железа 62%. В 1980 добыто 95,5 млн. т товарной руды, при общей производственной мощности горнорудной промышленности 120 млн. т.

Железистые кварциты докембрийского возраста широко распространены в странах Азии, особенно в Индии и КНР.

В Индии они приурочены преимущественно к дхарварской системе архейских пород, представленной разнообразными кристаллическими сланцами, филлитами, кварцитами и мраморами. В ряде мест железорудная серия несогласно перекрывается осадочными отложениями (песчаниками, конгломератами, глинистыми сланцами и известняками) колханской серии, которая по возрасту, вероятно, близко соответствует альгонкским образованиям Северной Америки.

Породы железорудной формации собраны в изоклинальные складки. Железистые кварциты как породы наиболее устойчивые в этой формации хорошо выражены в рельефе и образуют серию протяженных кряжей, к вершинам которых обычно приурочены богатые руды. Один из наиболее значительных кряжей возвышается над окружающей местностью на 450 м и почти на всем протяжении (более 50 км) включает залежи железных руд со средним содержанием железа более 60% при содержании фосфора 0,03–0,08% и серы до 0,03–0,04%.

В ряде мест наблюдаются постепенные переходы от полосчатых железистых кварцитов к богатым рудам, и иногда среди последних сохраняются реликты малоизмененных кварцитов. Железистые полосы кварцитов сложены преимущественно гематитом, иногда с заметным количеством магнетита. Они чередуются с прослойками аморфного кремнезема, содержащими тонкие чешуйки и зерна красного гематита.

Ресурсы железистых кварцитов и богатых руд Индии достоверно не определены, но несомненно, что они исчисляются десятками миллионов тонн. Общие запасы богатых руд, содержащих в среднем 63% железа, определяются в 13 млрд. т, а достоверные – в 8,5 млрд. т. Наиболее крупные месторождения и основная добыча железных руд сосредоточены в штатах Бихар, Орисса, Мадхья-Прадеш и в меньшей степени в штатах Махараштра и Майсур.

На базе богатых железных руд, разведанных в Раджхарском районе штата Бихар, при помощи Советского Союза создан Бхилайский металлургический комбинат. Разведанные запасы руд составляют здесь 100 млн. т при содержании железа в них свыше 66%.

Значительные запасы высококачественных гематитовых руд выявлены в Центральных провинциях, в районе Бастар штат Мадхья-Прадеш; среднее содержание железа в них колеблется в пределах 66–69%, фосфора 0,06–0,12% и серы 0,04–0,09%.

В Индии разведано и подготавливается к разработке месторождение Кудремукх, сложенное магнетитовыми кварцитами с содержанием железа 35–40%. Общие запасы их составляют 1,1 млрд. т. Выявлен новый перспективный железорудный район, запасы богатых руд которого, по

предварительным данным, оцениваются в 3 млрд. т при содержании железа 66%.

В 1980 г. добыча железных руд в Индии составила 39,1 млн. т товарной руды.

В К Н Р значительные площади развития железистых кварцитов и связанные с ними крупные месторождения богатых железных руд известны в северной и северо-восточной частях страны, сложенных преимущественно докембрийскими кристаллическими сланцами, кварцитами, мраморами и гнейсами, которые прорываются интрузиями гранитов и дайками основного состава. В пределах Южной Маньчжурии большинство месторождений располагается в широком поясе, прослеженном на протяжении 600 км. Железистые кварциты в форме мощных полос и залежи богатых руд разнообразной формы и размеров приурочены к кристаллическим сланцам архейского возраста. Основным рудообразующим минералом в них является магнетит, иногда с примесью гематита. Содержание железа в железистых кварцитах составляет в среднем 31–34%, в богатых рудах оно достигает 50–60%. Железные руды часто слагают отдельные холмы и пригодны для открытых разработок. В Северном Китае железистые кварциты и богатые руды представлены гематитовыми разностями и часто отличаются оолитовой структурой.

Аналогичные по возрасту и характеру проявления железные руды известны также на территории К Н Д Р, близ границы с КНР. Руды наиболее крупного месторождения *Мусан*, запасы которого оцениваются более чем в 1 млрд. т, представлены полосчатыми магнетит-гематитовыми кварцитами. Содержание железа в них составляет 38–39%, кремнезема 43–45%, марганца 0,02–0,04%, фосфора 0,1% и серы 0,004%.

Крупные ресурсы железистых кварцитов сосредоточены на Африканском континенте, но ввиду весьма низкой геологической изученности этой территории размеры их остаются недостаточно определенными.

Значительные площади развития железистых кварцитов известны в Ю А Р, преимущественно в Трансваале. Общие запасы железных руд, содержащих 40–60% железа, оцениваются в 9,0 млрд. т, из них доказанные 4,0 млрд. т. Сравнительно крупные запасы железных руд выявлены также в Либерии (1,2 млрд т), Гвинее (1,5 млрд. т), Габоне (1,3 млрд. т) и ряде других стран. Общие ресурсы железистых кварцитов Южной Африки, приуроченных только к системе нама-трансвааль, были определены в 1928 г. П. Вагнером в 2500 млрд. т.

В Норвегии основные месторождения железистых кварцитов сосредоточены в районе Зидварангер, где они залегают среди метаморфизованных образований среднего докембрия. Общие запасы руд, содержащих в среднем 30% железа, оцениваются в 1,8 млрд. т. Сходные по условиям залегания и составу железистые кварциты выявлены в северных районах Финляндии.

Несмотря на исключительно широкое распространение на всех континентах земного шара железистых кварцитов и связанных с ними богатых руд, а также на наличие огромного фактического материала, накоп-

ленного за длительный период разведки и эксплуатации этих месторождений, вопрос об их генезисе до настоящего времени однозначно не решен.

Более или менее определенное мнение сложилось в отношении происхождения железистых кварцитов, которые обычно считают типичными геосинклинальными морскими осадочными отложениями, образовавшимися в относительно удаленной от берега глубоководной области. Главные компоненты чередующихся слоев железистых кварцитов – железо и кремнезем, – по-видимому, в форме коллоидов приносились с соседней суши и ритмически отлагались. При этом железо первоначально отлагалось в виде гидроксидов, превращенных позднее в процессе регионального метаморфизма и дегидратации в магнетит и гематит. Возможно, что осаждению железа способствовала деятельность бактерий, при помощи которых осуществляется обмен растворимого железистого карбоната на нерастворимый гидроксид железа.

Остается неясным вопрос о роли механических процессов в формировании железистых кварцитов. Косая слоистость и следы ряби, иногда наблюдаемые во вмещающих породах, нигде не проявляются в самих кварцитах. Отсутствие в составе железистых кварцитов тяжелых минералов, характерных для кластических кварцитовых пород, также свидетельствует в пользу гипотезы химического отложения осадков в удаленной от берега части крупного морского водоема.

Развитие бассейна вдали от берега, где циркуляция вод ограничена, благоприятствовало химическому осаждению. Небольшие колебания в физических и химических условиях в пределах бассейна осадконакопления отразились в образовании различных фаций железорудной формации. Отложение химических осадков, богатых железом и кремнием, сопровождалось в ряде районов интенсивным тектогенезом и отложением мощной толщи сланцев и граувакк, что характерно для геосинклинальных условий осадконакопления.

Для районов Курской магнитной аномалии В.С. Дмитриевский приводит следующую общую схему формирования железистых кварцитов:

– послойное отложение в условиях флиша карбонатно-железисто-кремнисто-пелитовых илов, сопровождавшееся подводными оползнями с образованием микроскладчатости;

– диагенез осадков с образованием гематит-шамозит-карбонатных руд;

– складкообразование;

– региональный метаморфизм, обусловивший превращение гематит-шамозит-карбонатных руд в гематитовые и магнетитовые и сопровождавшийся кварцевым метасоматизмом рудных свит с образованием железистых кварцитов;

– внедрение в железистые кварциты и вмещающий их осадочный комплекс основных интрузивных пород;

– дальнейшее проявление метаморфизма в кварцитах и вмещающих их породах;

– внедрение гранитов в железорудную толщу с образованием жилок гидротермального кварца, пирита, гематита и карбонатов.

Вероятно, эта схема справедлива не для всех районов развития железистых кварцитов. В отношении железорудной формации штата Мату-Гросу (Бразилия) принято считать, что железо в виде коллоидных гидроксидов и гель-кремнезема осаждалось в мелких водах полузамкнутых эпиконтинентальных бассейнов в условиях жаркого и сухого климата. Марганцевые пласты, ассоциирующие с железистыми кварцитами, образовались, по-видимому, при кратковременных повышениях pH воды в бассейнах. Наличие пластов кластических пород в пределах марганецсодержащего горизонта свидетельствует о временных нарушениях нормальных условий.

Мелководные оолитовые железные руды установлены также в Южной Африке. Они заключены в системе нама-трансвааль верхнепротерозойского возраста и замещают по простиранию железистые кварциты.

Учитывая огромные мощности и широкое площадное распространение железистых кварцитов, можно достаточно уверенно считать, что физико-химические процессы, обусловившие их образование, были весьма устойчивыми в течение длительного периода и проявились в докембрийское время почти повсеместно.

Дискуссионным остается вопрос об источниках колоссального количества железа и кремнезема, сконцентрированного в железорудных формациях. Одни считают их продуктами поверхностного выветривания, другие полагают, что они вынесены из подводных магматических очагов и только отложены осадочным путем. Существует также мнение о том, что некоторые полосчатые железистые кварциты, например в Северном и Восточном Сингбхуме (Индия), образовались путем силицификации железистых осадков, которые первоначально состояли главным образом из вулканических туфов. Достаточно убедительных доказательств этой гипотезы нет, хотя в районе Мичипикотен (Канада) железистые кварциты в какой-то мере, вероятно, связаны с ассоциирующими с ними пирокластическими породами. Такая ассоциация железистых кварцитов с эффузивными породами наблюдается и в ряде других районов.

В отношении железистых кварцитов оз. Верхнего высказывается предположение, что они образовались в результате метаморфизма силикатно-железистых пород и сидеритов, останцы которых сохранились на глубоких горизонтах. Согласно другой гипотезе, они являются продуктом метаморфизма глауконитовых песков.

Более сложный и спорный вопрос о происхождении богатых железных руд, тем более что процессы, обусловившие их образование, не носили универсального характера и в различных районах и даже в пределах одного района или бассейна проявились по-разному.

Наиболее распространены две противоположные гипотезы генезиса богатых руд – гипергенная и гипогенная.

Сторонники первой гипотезы основываются на том, что в большинстве случаев наблюдаются постепенные переходы от железистых

кварцитов к их обогащенным разностям и богатым железным рудам, причем эти переходы отмечаются как по горизонтали, так и по вертикали. Иногда останцы малоизмененных железистых кварцитов присутствуют среди богатых руд, а в последних нередко наблюдаются отчетливые реликтовые текстуры кварцитов и сохраняются следы их первоначальной слоистости и плойчатости.

Многие считают, что обогащенные руды являются продуктом экзогенного выветривания, что железистые кварциты в условиях, свойственных коре выветривания, подверглись процессам обогащения под действием просачивающихся вниз по трещинам метеорных вод, которые в одних случаях только растворяли и выносили кремнезем и карбонаты, а в других – одновременно или несколько позднее осаждали гидроокись железа, впоследствии превращенную в гематит, магнетит и другие минералы. Способность поверхностных вод к растворению и выносу кремнекислоты подтверждается, например, содержанием ее в шахтных водах Кривого Рога в количестве до 15–20 мг/л. Об этом свидетельствуют также широкоразвитые во многих районах, особенно в месторождениях итабиритов Бразилии, порошковатые сильно пористые руды, которые, вероятно, обязаны своим происхождением процессу удаления кремнезема из железистых кварцитов без последующего заполнения образовавшихся пустот. Часто между рыхлыми и плотными рудами наблюдаются постепенные переходы. Отмечаются случаи превращения пористых руд в плотные в результате последующего окремнения.

Развитие коры выветривания в одних районах (например, в районах Курской магнитной аномалии) носило площадной характер и проявлялось повсеместно, в других (Кривой Рог), по-видимому, было приурочено к определенным зонам повышенной трещиноватости. Глубина коры выветривания часто превышает 1000 м, причем интенсивность окисления железистых кварцитов не испытывает заметного изменения. Однако известны и такие примеры, когда значительные по размерам залежи мартитовых руд на глубине 350–500 м от дневной поверхности выклиниваются и сменяются неокисленными магнетитовыми железистыми кварцитами.

В Саксаганском районе Криворожского бассейна в качестве общей закономерности отмечается отсутствие богатых руд среди неокисленных и невыщелоченных участков железистых кварцитов, а также уменьшение интенсивности окисления и выщелачивания железистых кварцитов по мере удаления от рудных залежей, что служит для сторонников гипергенной гипотезы доказательством приуроченности рудных залежей к трещинной коре выветривания. (Следует отметить, что в ряде других районов эта закономерность не наблюдается, и залежи богатых руд встречаются среди неизмененных железистых кварцитов).

В пользу гипергенной гипотезы свидетельствует также установленная во многих районах зависимость минерального состава богатых руд от вмещающих их пород. Так, в Криворожском бассейне с так называемыми чистыми железистыми кварцитами (джеспилитами) ассоциируют мартитовые руды, с силикатными железистыми кварцитами – гид-

рогематит-мартитовые, с железисто-силикатными сланцами – гидрогематитовые. Нередко эти типы руд связаны постепенными переходами и образуют комплексные залежи.

Накопленный за последние годы фактический материал подтверждает преимущественно гипергенную гипотезу образования залежей богатых железных руд. Исследователи месторождений Курской магнитной аномалии единодушно считают, что богатые железные руды образовались здесь в результате длительного процесса выветривания железистых кварцитов вблизи дневной поверхности и представляют собой древнюю довизейскую кору выветривания. В результате последующего интенсивного размыва кора выветривания сохранилась лишь на отдельных площадях.

Согласно второй гипотезе, образование богатых руд, выщелачивание и вынос кремнезема из железорудной формации и перераспределение железосодержащих минералов внутри нее обусловлены действием гидротермальных растворов магматического или метаморфического происхождения.

Гипогенной гипотезы образования богатых руд придерживался ряд исследователей Кривого Рога (Н. И. Семененко, Я. Н. Белевцев, Г. В. Тахтуев, Ю. Г. Гершойг, Н. И. Гречишникова и др.). Они считали, что подавляющее большинство железорудных залежей, в частности крупные шарнирные залежи мартитовых и гидрогематитовых руд, а также связанные с ними мощные рудные столбы, являются эпигенетическими образованиями. Обогащение локальных участков железистых пород и формирование гематит-магнетитовых руд произошло в период общего прогрессивного метаморфизма и обусловлено деятельностью связанных с ним глубинных термальных растворов.

Полагали, что здесь имели место два этапа метасоматоза. Первоначально проявился магнезиальный метасоматоз (особенно интенсивно – в ослабленных периклинальных замыканиях складок, шарнирах и повтора структур), благодаря которому произошло замещение биотита, кварца и граната куммингтонитом и грюнеритом, вплоть до образования почти мономинеральных куммингтонитовых пород. Позднее на участках наиболее интенсивной складчатости проявился железный метасоматоз, обусловивший образование магнетита и гематита и замещение этими минералами куммингтонита и кварца. Последующее обогащение железом этих залежей, мартитизация магнетита, разложение железистых силикатов и карбонатов и вынос кремнезема связаны с древними зонами выветривания, опускавшимися местами на большую глубину.

Исследователи месторождений итабиритов Бразилии считают, что высокосортная руда, сложенная спекуляритом (гематитом) и мартитом, образовалась в результате замещения кремнезема итабиритов минералами железа под воздействием горячих циркулирующих растворов и что эти растворы скорее могли быть остаточными водами, нагретыми и активизированными в процессе глубокого захоронения, чем магматическими растворами, которые обычно привносят различные вещества, особенно сульфиды металлов. Позднейшее выветривание проявилось в незначительном выщелачивании руды и итабиритов.

Приверженцев гипотезы осадочного происхождения богатых руд мало, хотя для ее доказательства приводятся довольно веские аргументы. Так, в ряде районов крупные пластообразные залежи богатых железных руд обладают правильными и согласными контактами с подстилающими и покрывающими железистыми кварцитами без отчетливых признаков их взаимосвязи. В литературе имеются указания на то, что в районе Эль-Пао (Венесуэла) железные руды залегают с угловым несогласием на интенсивно деформированных породах, включающих железистые кварциты; на этом основании считают, что они отложились в более позднее время в результате морской трансгрессии. К кластогенному генезису, несомненно, относится ряд крупных месторождений гематитовых и бурожелезняковых руд, разведанных и разрабатываемых в Западной Австралии, где они образовались за счет размыва и переотложения итабиритов и связанных с ними богатых руд.

Некоторые исследователи полагают, что богатые руды являются продуктом химического осаждения в болотах и застойных реках железа, сконцентрированного в их водах в результате эрозии и выщелачивания железистых кварцитов. Осадочно-метаморфическое происхождение в Кривом Роге приписывают рудным залежам гематит-магнетитового или силикатно-магнетитового состава, располагающимся на границе пород железорудной и сланцевой свит.

Таким образом, вопрос о генезисе железистых кварцитов и особенно связанных с ними богатых железных руд весьма сложен. В формировании этих образований могли принимать участие первичноседиментационные, гипергенные, метаморфические, гидротермальные и, возможно, контактово-метасоматические процессы. Наличие сходых черт между железистыми кварцитами и богатыми рудами, развитыми на различных континентах, несомненно, свидетельствует об общих закономерностях и идентичных условиях их образования и о том, что специфические особенности отдельных районов, месторождений и рудных залежей – следствие локально проявленных и наложенных процессов.

Если вопрос о возрасте железистых кварцитов не вызывает сомнения и во всех районах их проявления время образования железистых кварцитов относится к интервалу от нижнего архея до верхнего протерозоя, то вопрос о возрасте богатых руд не может быть, по-видимому, решен однозначно. В одних районах, там, где богатые руды перекрываются протерозойскими образованиями, они так же, как и железистые кварциты, относятся к докембрийскому возрасту, в других они, возможно, являются гораздо более молодыми. Так, судя по возрасту надрудных отложений центральных и северных районов Курской магнитной аномалии, формирование богатых железных руд продолжалось здесь от протерозоя до силура и девона, а в Белгородском районе – до нижнего карбона.

Другие типы месторождений железных руд

Докембрийские месторождения железных руд различных масштабов и генетических типов, не связанных с железистыми кварцитами,

разрабатываются во многих странах. Некоторые из этих месторождений обладают сравнительно крупными запасами и имеют важное экономическое значение.

В СССР к ним относится одно из крупнейших в мире сидеритовых месторождений – *Бакальское* (или Бакальская группа месторождений).

Все железорудные залежи этого месторождения, имеющие промышленное значение, распространены на площади около 100 км^2 и залегают в карбонатных породах бакальской свиты протерозоя, представленной чередованием известняков, доломитов и сланцев. Из семи горизонтов бакальской свиты рудоносны только четыре, внутри которых более 200 рудных тел занимают неопределенное стратиграфическое положение; чаще всего они залегают у висячего или лежачего бока или в средней части карбонатного горизонта, а иногда целиком его замещают.

Наиболее распространенной формой рудных тел являются пластообразные залежи; встречаются также линзы, гнезда и реже рудные штоки. Все они обычно залегают согласно с вмещающими породами (повторяя сложную складчатость рудовмещающего пласта), но резко выклиниваются как по падению, так и по простиранию. Мощность большинства залежей невыдержанна, наблюдаются раздувы и пережимы. Размеры рудных тел колеблются в широких пределах: по простиранию – от нескольких десятков метров до 2700 м, по падению – от 20 до 1200 м, по мощности – от 1,5–4 до 80– 100 м. Глубина залегания их также изменчива: часть рудных тел выходит на поверхность и разрабатывается карьерами, другая часть залегает на глубинах до 500 – 900 м.

Руды представлены сидеритами (более 90% всех учтенных запасов), которые в зоне окисления переходят в бурые железняки и турьиты. Первичные сидеритовые руды большинства месторождений Бакальской группы, несмотря на приуроченность к различным стратиграфическим горизонтам, характеризуются однотипным минеральным и химическим составом с небольшими колебаниями в содержании компонентов.

Сидеритовые руды состоят из карбоната железа, кальция и магния с примесью марганца и небольшого количества песчано-глинистого материала. Среднее содержание железа в сидеритовых рудах по отдельным участкам изменяется от 28 до 35,7% (свыше 70% учтенных запасов сидеритов содержат 28 – 29% железа), фосфора – от 0,009 до 0,022%, серы – от 0,22 до 0,82%. Они идут в плавку в смеси с бурыми железняками после несложной рудоподготовки (дробление, грохочение, сушка и агломерация мелочи).

Окисленные руды по минеральному составу подразделяются на гидрогематитовые (турьиты) и гидрогетитовые (бурые железняки) разности, которые перемежаются в разных количественных соотношениях. Среднее содержание элементов в окисленных рудных по месторождениям Бакальской группы колеблется в пределах: железа 37,8 – 52% (72% учтенных запасов окисленных руд содержат более 47% железа), серы 0,022 – 0,152%, фосфора 0,027 – 0,042%, кремнезема 2,8 – 6,0%.

Глубина распространения зоны окисленных руд на месторождениях достигает 100 – 120 м.

Общие запасы железных руд Бакальского месторождения превышают 1 млрд. т.

Генезис месторождения окончательно не установлен. А. Н. Заварицкий, П. А. Земятченский, Л. М. Миропольский рассматривали его как продукт метасоматоза карбонатных пород под действием гидротермальных магнезиально-железистых растворов. Другие исследователи (Д. В. Наливкин, А. Д. Архангельский, А. Н. Ушаков, А. Е. Малахов) относили месторождение к первичноосадочным железистым карбонатным образованиям, считая его результатом совместной седиментации сидерита, доломита, магнезита и кальцита на дне древнего водоема. В дальнейшем руды подверглись интенсивному окислению в верхней части с образованием мощной железной шляпы.

Следует отметить, что представление сторонников гидротермальной гипотезы об исключительной приуроченности оруденения к антиклинальным структурам опровергается работами последующих лет, установившими промышленные руды в ядре синклинальной складки, где они связаны с четырьмя пластами карбонатных пород верхней части бакальской свиты.

В Восточной Сибири к песчано-глинистым и карбонатным метаморфическим породам, относимым к низам нижнеангарской свиты протерозоя, приурочены крупные залежи гематитовых руд *Ангаро-Питского* района Красноярского края. Рудный горизонт состоит из 7 – 11 чередующихся рудных и безрудных пачек общей мощностью 44 – 130 м. Рудные зоны отдельных месторождений прослежены на 9 – 22 км. Залежи руд отличаются сравнительно выдержанной пластообразной формой и постоянством химического состава. Общие запасы железных руд со средним содержанием железа 40 – 42% оцениваются в 1,4 млрд. т.

К продуктивным горизонтам федоровской свиты иенгрской серии архея приурочена основная часть железорудных месторождений *Южной Якутии.* Рудные залежи весьма сложной пластообразной формы залегают среди интенсивно гранитизированных гнейсов, магматизированных сланцев, диопсидсодержащих кальцифиров и эпидот-скаполит-диопсид-гранатовых скарнов. Руды магнетитовые (редко мартитовые) сплошные и вкрапленные, с прослоями магнетитсодержащих диопсид-скаполитовых сланцев. Встречаются две разновидности руд. Для первой характерны магнетит, форстерит, клиногумит, флогопит, шпинель, для второй – магнетит, диопсид, флогопит. Среднее содержание железа в них составляет 40 – 46%, серы до 3,5%, фосфора 0,12%. В некоторых рудах наблюдается повышенное содержание меди, кобальта.

Большинство исследователей относят эти месторождения к контактово-метасоматическому типу, считая, что это доказывается наличием структур замещения и реликтов вмещающих пород. Общие запасы железных руд наиболее крупного месторождения этой группы *Таежного* превышают 1 млрд. т (*рис.10*).

Из зарубежных месторождений железных руд докембрийского воз-

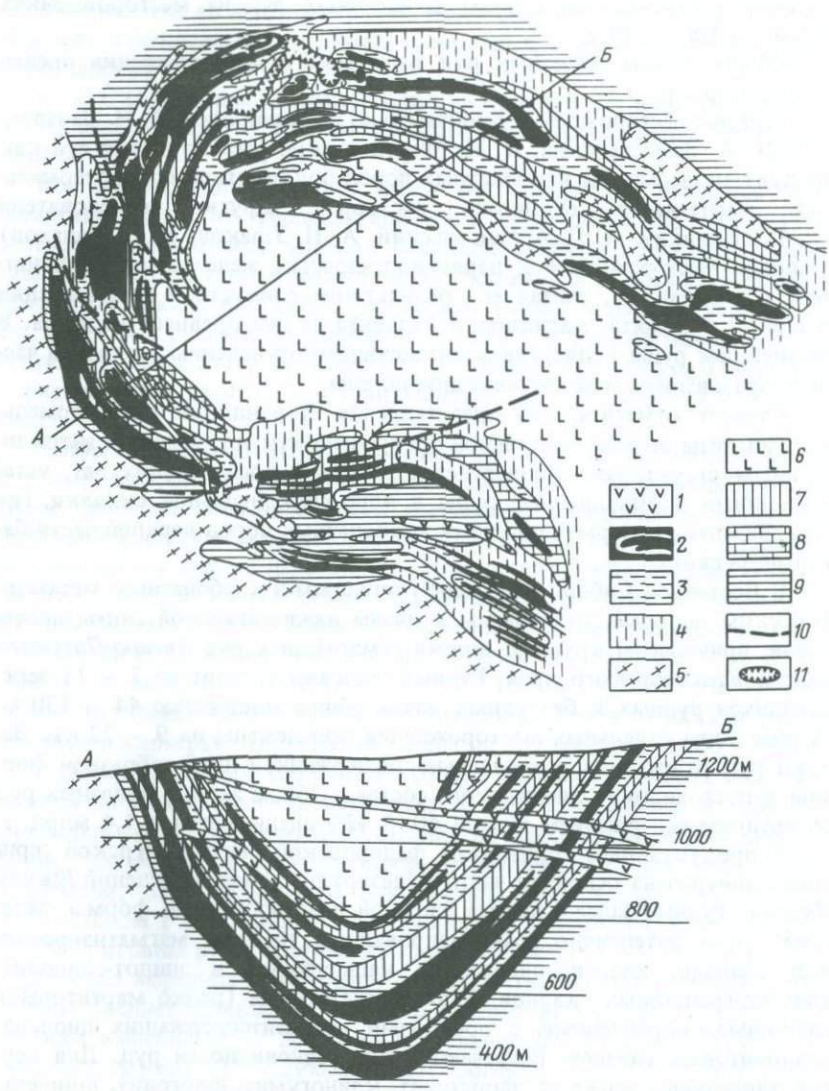


Рис. 10. Схема геологического строения Таежного месторождения *(по А. И. Пухареву)* :

1 – сиенит-порфиры; *2* – железные руды; *3* – скарны магнезиальные; *4* – скарнированные алюмосиликатные породы; *5* – мигматиты и инъекционные гнейсы; *6* – гнейсы биотитовые и силлиманитовые (надрудный горизонт); *7* – гнейсы и кристаллические сланцы биотит-амфиболовые (подрудный горизонт); *8* – кальцифиры и доломитовые мраморы; *9* – гнейсы и кристаллические сланцы пироксен-амфиболовые; *10* – флексуры; *11* – карьер и отвалы

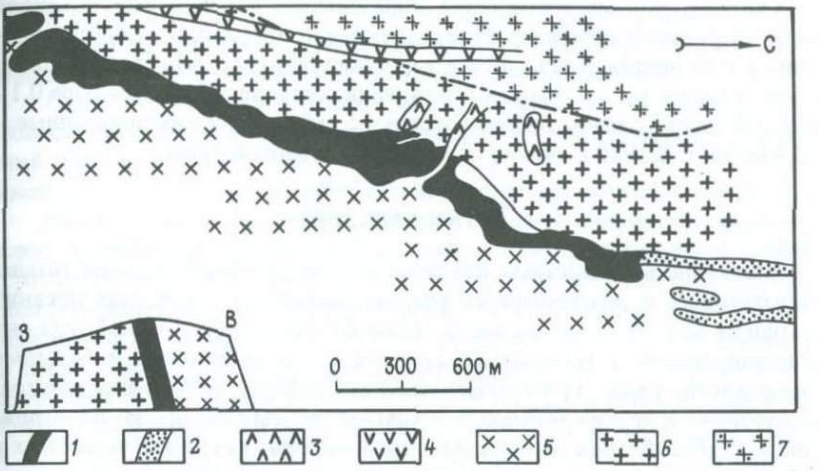


Рис. 11. Схематический план и поперечный разрез вкрест простирания месторождения магнетита Кирунавара:

1 – руда; *2* – руда под наносами; *3* – дайки аплита; *4* – дайки кварцевого порфира; *5* – кварцевые порфиры; *6* – сиенит-порфиры; *7* – сиениты

раста большое практическое значение имеет открытое в Канаде накануне второй мировой войны месторождение озера *Стип-Рок* (провинция Онтарио). Рудные залежи приурочены здесь к контакту брекчированных альгонкских доломитов и известняков с туфами и лавовыми породами киватинской серии архея. Они почти целиком сложены гематитом и в сравнительно небольших количествах содержат гётит, турьит и лимонит. В среднем руды содержат более 52% железа при переменном, но сравнительно высоком содержании марганца. Среднее содержание фосфора не превышает 0,03% и серы 0,05%. Почти вся руда, добываемая на этом месторождении, вывозится в США.

Мировой известностью издавна пользовались месторождения *Кирунавара, Луоссавара* и *Гелливаре*, расположенные в центральной части Швеции. Рудные залежи Кирунавара (рис. 11) в форме плоских вытянутых линз залегают вдоль контакта кварцевых порфиров и сиенит-порфиров и характеризуются крупными размерами и высоким качеством руд. Наиболее значительная рудная залежь месторождения прослежена по простиранию почти на 5 км при мощности, достигающей 85 м. Магнитометрическими исследованиями установлено распространение оруденения на глубину, превышающую 2000 м. На месторождении Гелливаре рудные тела залегают среди мелкозернистых гнейсов. Одно из них имеет длину 4 км, прослежено на глубину 800 м при мощности от 18 до 30 м. Руды состоят преимущественно из магнетита с небольшой примесью вторичного гематита. По краям рудных залежей широко развиты прожилки и шлировые выделения фторапатита, скаполита, альбита, турмалина и сульфидов меди.

Считают, что месторождения образовались в результате инъекций жидкого рудного остатка магмы, содержавшего большое количество летучих компонентов (воды, фтора и фосфорной кислоты). Среднее содержание железа в рудах этих месторождений составляет 51%, фосфора 0,1–3,5%. Общие их запасы оцениваются в 4,5 млрд. т, из них доказанные – в 2,4 млрд. т. В 1980 г. добыто 27, 2 млн. т товарной руды.

ТИТАН, ВАНАДИЙ

Большинство известных крупных коренных месторождений титаномагнетитовых и ильменитовых руд сосредоточено в пределах древних платформ или областей развития докембрийских образований, где они пространственно и генетически связаны с ультрабазитами и базитами нормального ряда. Громадные массивы габбро, габбро-анортозитов, анортозитов и других основных и ультраосновных пород, заключающие мощные обособления вкрапленных и массивных титаномагнетитовых и магнетит-ильменитовых руд, часто располагаются вдоль линейно-вытянутых зон и, по-видимому, связаны с протяженными и сложными разломами. Особенно широко распространены эти интрузивные породы на Африканском, Канадском, Балтийском щитах и Австралийской платформе, где сосредоточены крупнейшие ресурсы титаномагнетитовых руд.

Весьма характерно для этих руд почти постоянное присутствие ванадия, большинство (до 95%) выявленных запасов которого за рубежом заключено в титаномагнетитовых месторождениях, обеспечивающих примерно 70% производимой суммарной ванадиевой продукции в капиталистических странах. В качестве источника титана в ряде стран (Канаде, Норвегии, Финляндии) разрабатываются в основном магнетит-ильменитовые руды.

Возраст месторождений титаномагнетитовых и магнетит-ильменитовых руд далеко не всегда удается установить с достаточной достоверностью, поскольку интрузии, с которыми они связаны, обычно находятся среди докембрийских образований и редко контактируют с более молодыми породами. Несомненно, большинство этих интрузий, а следовательно, и заключенных в них рудных залежей относится к докембрийскому, главным образом протерозойскому возрасту, хотя возможно, что часть из них связана с каледонским или герцинским магматизмом. В ЮАР они приурочены к Бушвелдскому комплексу пород габбро-перидотитовой формации, абсолютный возраст которых определен в 1950 ± 100 млн. лет. К этому же возрасту относят комплекс основных и ультраосновных пород Танзании, с которыми связаны также крупные месторождения титаномагнетита.

Архейскими являются многочисленные месторождения титаномагнетита Индии. К докембрийскому (вероятно, нижнепротерозойскому) дифференцированному массиву габбро-анортозитовых пород приурочены наиболее крупные месторождения титаномагнетитовых руд Канады.

В СССР в более позднее время произошло формирование рудоносных интрузивных пород хребта Джугджур на Дальнем Востоке (средний протерозой) и Балтийского щита (верхний протерозой).

Одной из наиболее крупных в мире концентраций ресурсов титаномагнетитовых руд является Бушвелдский сложнодифференцированный комплекс интрузивных пород в Ю А Р; он приурочен к трансваальской системе докембрия и обнажается на площади более 115 тыс. км^2.

Нижняя часть комплекса включает сильно дифференцированные слои основного и ультраосновного состава. Верхняя его часть сложена красными гранитами. К более основной части интрузива приурочены пластообразные залежи или четкообразно расположенные короткие мощные линзы титаномагнетита и тонкие ленты хромита, а также прослойки и неправильные трубообразные тела платиновой руды. Пояс титаномагнетитовых пород протягивается на 650 км. Руды состоит из магнетита, ильменита, маггемита и гематита. Она содержит Fe 51,8 – 60,2%, TiO_2 от 8 до 25%, V_2O_5 от 0,4 до 2,5%. Фосфора практически нет. Запасы руд наиболее крупного месторождения *Магнет Хейтс*, расположенного к северу от Претории, оценивались в 2 млрд. т. Общие запасы гистеромагматических титаномагнетитовых руд Бушвелдского комплекса оценивались в 5,9 млрд. т. На базе этих руд созданы заводы по производству ванадиевых шлаков годовой производительностью порядка 20 тыс. т в пересчете на V_2O_5. Общие запасы V_2O_5 в стране оцениваются в 3,3 млн. т при среднем его содержании в руде 1,8%.

Ряд весьма крупных коренных месторождений ильменито-магнетитовых руд разведан в Т а н з а н и и, на северо-восточном берегу оз. Ньяса в округе Ньомбе. Месторождения приурочены к интрузивному комплексу пород основного и ультраосновного состава, залегающих среди гнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов, песчаников и других пород системы укинга. Рудные тела образуют неправильной формы штоки, линзы или гнезда различной величины. Они состоят в основном из магнетита, ильменита, кварца и шпинели. Содержание в них Fe составляет около 50%, TiO_2 12,6 – 13,7%. Запасы титаномагнетитовых руд двух наиболее значительных месторождений – *Лиганга* и *Люгарава*, – подсчитанные только до глубины 60 – 90 м, превышают 1200 млн. т.

Ряд месторождений титаномагнетитовых руд разведан в М о з а м б и к е, где в связи с высоким содержанием в них железа (примерно 50%) использование их предполагалось для производства железорудных концентратов. В начале 70-х годов намечалось освоение месторождения ванадийсодержащих титаномагнетитов в районе г. Тете. Разведанные запасы руд этого месторождения составляют 35 млн. т при среднем содержании V 0,7% и TiO_2 18%.

Крупными ресурсами титана располагают С Ш А, где в штате Нью-Йорк в Адирондакских горах у оз. Сэнфорд расположено месторождение *Тегавус*, которое обеспечивало более 50% добываемого в стране ильменита. Рудная зона прослежена на 550 м в длину при ширине 130 м. Она заключает ряд рудных штоков, линз и гнезд в габбро и анортозитах, прорывающих архейские гнейсы и кристаллические сланцы. Среднее со-

держание TiO_2 в рудах составляет 9 – 12%, железа 60 – 64%, фосфора 0,9 – 1,2% и ванадия около 0,4%. Аналогичны по масштабам и характеру оруденения месторождения этого района *Сэнфорд-Хилл*, *Ор-Маунтин* и др.

К докембрийским и габбро-анортозитовым интрузиям Колорадского плато приурочено другое крупное месторождение титаномагнетита – *Айрон-Маунтин*, расположенное в штате Вайоминг. Главная рудная залежь прослеживается по простиранию на 20 км при мощности от 15 до 60 м. Руда состоит из титаномагнетита с незначительной примесью ильменита, шпинели и оливина. Среднее содержание в ней TiO_2 составляет 27 – 28%, Fe – 50–52%, V_2O_5 – 0,35 – 0,45%, Cr_2O_3 – 2,45% и ZnO – 0,47%.

Многочисленные месторождения титана докембрийского возраста выявлены на территории К а н а д ы. Наиболее крупные из них – *Аллард-Лейк, Лейк-Тио, Пьюиджелон, Миллс* и др. – сосредоточены в провинции Квебек, в районе оз. Аллард и Тио и приурочены к северо-восточной части архейского массива анортозитового габбро, ильменитсодержащего анортозита и норита; этот массив представляет собой тело овальной формы размером около 150 км по длинной оси, при ширине от 30 до 50 км. Рудные залежи преимущественно пластообразной формы залегают в анортозите на расстоянии 3 – 8 км от контакта с прорывающим его гранитом. Высокосортная руда содержит 75% ильменита и 20% гематита; остальная ее часть представлена пироксеном, полевым шпатом и изредка пиритом, пирротином и халькопиритом.

На месторождении Лейк-Тио оконтуренная площадь залежи составляет 1,1 км^2 при мощности от 7,5 до 90 м. Руды содержат TiO_2 32%, Fe 40%, V_2O_5 0,2 – 0,23%. На месторождении Пьюиджелон рудная залежь прослежена по простиранию на 700 м, при мощности 6 – 75 м.

Высоким качеством руд характеризуется месторождение Аллард-Лейк. Достоверные его запасы составляют 150 млн. т при среднем содержании TiO_2 35% и Fe 40%.

При металлургической переработке магнетит-ильменитовых руд Канады получаются шлаки, содержащие TiO_2 72%. В 1978 г. производство их в стране достигло 849,9 тыс. т.

В северо-западной части Европейского континента расположена огромная Скандинавско-Балтийская титанорудная провинция, в пределах которой многочисленными месторождениями преимущественно мелких и средних масштабов располагают Финляндия, Швеция, Норвегия и СССР.

В Ф и н л я н д и и разведано несколько коренных месторождений титаномагнетита (*Вуолийоки, Отанмяки* и др.), руды которых содержат Fe 30 – 40% и TiO_2 от 6 до 16%. В богатых рудах среднее содержание V_2O_5 достигает 2,42%. Производство его в 1980 г. составило 5,1 тыс. т, а выпуск ильменитовых концентратов 159 тыс. т.

Ряд промышленных месторождений титаномагнетитов выявлен в различных районах Ш в е ц и и. Наиболее крупное из них месторождение *Таберг* находится в южной части страны. Здесь залежь титаномаг-

нетитовых руд (длиной около 1 км, шириной до 450 м) расположена в центральной части сложно дифференцированного габброидного массива и представлена главным образом норитом и в меньшей степени анортозитом. В состав руд входят титаномагнетит, ильменит, оливин и плагиоклаз. В небольшом количестве присутствуют апатит, амфибол и примеси сульфидов. Общие запасы руд месторождения оцениваются в 450 млн. т, но качество их невысокое.

Ряд крупных месторождений титана, представленных богатыми магнетито-ильменитовыми рудами, разрабатывается также в Норвегии. Среднее содержание TiO_2 в рудах по отдельным месторождениям колеблется от 18 до 42%. В 1978 г. производство ильменитовых концентратов в стране составило 762,9 тыс. т.

В СССР месторождения титаномагнетитовых руд известны в Карелии, где они связаны с интрузиями габбро-диабазов, для которых характерна большая протяженность (несколько километров) при сравнительно небольшой мощности (140 м и менее). Известное в районе Онежского озера *Пудожгорское* месторождение приурочено к интрузии габбро-диабазов, залегающих в древних (архей – нижний протерозой) гранитах, а габбро-диабазы, с которыми связано другое месторождение этого района – *Койкарское,* залегают в иотнийской кварцито-песчаниковой свите.

Титаномагнетиты месторождений характеризуются повышенным содержанием ванадия (0,73% и менее) при значительном содержании титана (13% и менее). Однако технология получения концентрата ванадия из этих руд осложнена существенным обогащением его титаном.

Ряд докембрийских промышленных месторождений титаномагнетитов приурочен к габброидному поясу западного склона Южного Урала. Габброидные массивы (Кусинский, Медведевский, Копанский и Маткальский) длиной до 15 – 20 км и мощностью от 0,3 до 1,5 км протягиваются с небольшими перерывами в северо-восточном направлении согласно с вмещающими их протерозойскими породами на расстояние 76 км. Одноименные месторождения приурочены к центральной части массивов. Рудные залежи, как правило, повторяют форму вмещающих габброидных пород и представляют собой серию параллельных рудных тел жилообразной и линзообразной формы с углами падения от 40 до 85^0. Жилообразные тела сложены сплошными рудами и имеют резкие контакты с вмещающими породами; линзовидные тела чаще представлены вкрапленными рудами. Крупные рудные тела сильно нарушены продольными и поперечными смещениями с амплитудой от 10 до 90 м.

Абсолютный возраст габброидных массивов определен в 1100 – 1400 млн. лет.

Наиболее высоким качеством руд характеризуется разрабатываемое *Кусинское* месторождение, в котором в отличие от других месторождений преобладают сплошные ильменит-магнетитовые руды. Магнетит месторождения почти лишен титана, а ильменит служит источником производства высококачественных его концентратов.

Подготовлено к разработке *Медведевское* месторождение, при-

уроченное к линзообразному габбровому массиву протяженностью 7 км. Первичные породы превращены в амфиболиты и габбро-амфиболиты, среди которых выделяются полосы ильменитовых и ильменит-титаномагнетитовых руд. Переработка их позволяет получить кондиционные концентраты для ферросплавной и электродной промышленности.

К докембрию относится *Тагульское* месторождение в Восточном Саяне, приуроченное к центральной и южной частям габбро-анортозитового массива. Зона оруденения сложена группой сближенных густовкрапленных и сливных ильменит-титаномагнетитовых руд, в которых содержание TiO_2 колеблется от 4,7 до 25,4%, Fe 18–64%, V_2O_5 0,32–0,77%. Громадные массивы анортозитов, габбро-анортозитов и габбро протерозойского возраста известны на Дальнем Востоке, в пределах хребта Джугджур, где с ними связаны типичные ильменитовые габбро и линзы ильменита пластового характера.

В пределах Азии месторождения докембрийских титаномагнетитовых руд выявлены также на территории И н д и и. Здесь известны пока не разрабатываемые месторождения титаномагнетитовых руд, образующих линзы в габбро и ультраосновных породах, развитых в восточных частях страны. Титаномагнетитовые руды Индии, отличающиеся высоким содержанием ванадия, сосредоточены в смежных районах Сингбхум (штат Бихар) и Маюрбхандж (штат Орисса). Запасы их оцениваются в 22 млн. т руды с содержанием V_2O_5 от 1,5 до 2,5% и TiO_2 от 10 до 16%.

Для изучения возможностей переработки титаномагнетитов этих районов построена опытная установка мощностью 1 т руды в сутки. В Раджаппуре намечалось сооружение фабрики для производства феррованадия производительностью 500 т в год. Предполагалось, что сырьем для нее явятся руды района Маюрбхандж.

В А в с т р а л и и промышленные месторождения титаномагнетитовых руд впервые выявлены в конце 60-х годов в районе Джеймсон-Рейндж (Западная Австралия). Запасы их оцениваются в 91 млн. т при среднем содержании V_2O_5 2,7%, TiO_2 20%, Fe 48,8%.

В 1970 г. в Западной Австралии обнаружены еще два месторождения титаномагнетитовых руд. Одно из них находится в 460 км северо-восточнее Джералдтона, в районе Баррамби. Протяженность рудной зоны около 20 км. Общие запасы руды сугубо ориентировочно оцениваются в 240 млн. т на каждые 30 м углубки. Разведанные запасы, по последним данным, составляют 37 млн. т руды с содержанием V_2O_5 0,46%. Предполагается добывать около 2 млн. т руды в год, из которой будет производиться примерно 8 тыс. т V_2O_5.

Второе месторождение расположено в 75 км северо-западнее Перта. Запасы его оцениваются в 226 тыс. т V_2O_5. Ожидается ее добыча в размере 1,4 тыс. т в год; впоследствии она может быть расширена. Разработка будет вестись открытым способом.

В отличие от СССР, где основные русурсы марганцевых руд сосредоточены в кайнозойских отложениях, в зарубежных странах большинство промышленных месторождений марганца, обеспечивающих более половины мировой добычи (без СССР), относятся к докембрию. В Индии они подчинены архейской осадочно-метаморфической серии гондит дхарварской системы, в Бразилии залегают среди итабиритов, в ЮАР и Гане крупные залежи марганцевых руд ассоциируют с филлитами, кварцитами и доломитами протерозойского возраста. Независимо от возраста, состава руд и условий залегания все эти месторождения обычно считаются метаморфогенными. Весьма характерны для них марганцевые шляпы, возникшие в процессе гипергенного выветривания первичных силикатных и карбонатных руд. Окисленные руды марганцевых шляп отличаются высоким качеством и имеют наибольшее практическое значение.

Крупнейшие ресурсы марганцевых руд сосредоточены в Ю А Р, преимущественно в юго-восточной части пустыни *Калахари* (Капская провинция); прогнозные запасы, по последним данным, оцениваются в 7300 млн. т, в том числе 300 млн. т руд с содержанием марганца 40%, 2000 млн. т руд среднего качества с содрежанием марганца 30–40% и 5000 млн. т низкокачественных руд с содержанием марганца 20–30%. Общие запасы марганцевых руд, рентабельных для разработки, составляют 3000 млн. т, половина из них относится к доказанным.

Месторождения бассейна Калахари приурочены к верхнепротерозойской полосчатой железистой формации, перекрывающейся нижнепротерозойскими карбонатными породами, преимущественно известковыми доломитами. Руды сингенетического происхождения с последующим поверхностным обогащением и частичным замещением, происходившим в течение нескольких эрозионных циклов, в значительной мере метаморфизованные, часто оолитового строения. Рудные пласты характеризуются выдержанной мощностью, нередко превышающей 3 м, и прослеживаются на расстояние нескольких километров. Они сложены главным образом браунитом, криптомеланом, биксбиитом, реже встречаются якобсит, гаусманит, тодорокит, манганит.

В Калахари сосредоточена основная добыча марганцевых руд в стране. На пяти рудниках, расположенных в районе Куруман, в 1977 г. добыто 4,7 млн. т руды, содержащей 34–48% марганца и 4–20% железа. В 90 км северо-западнее Курумана в августе 1979 г. открыт рудник вблизи Миддельплаатс проектной производительностью 1,4 млн. т руды в год. Содержание марганца в карбонатной низкофосфористой руде 30–38%. Рудные тела мощностью до 14 м располагаются на глубине 400 м и отрабатываются камерно-столбовым способом с оставлением около 25% запасов в целиках. После обогащения товарная продукция транспортируется по железной дороге в Порт-Элизабет (950 км).

В небольшом объеме продолжается добыча на издавна разрабаты-

ваемом *Постмасбургском* месторождении, находящемся на севере Капской провинции в пределах хребта Гамагара. Руды слагают две полосы меридионального направления, при этом западная полоса на протяжении 43 км почти непрерывно прослеживается на поверхности. Мощность рудных тел подвержена большим колебаниям – от 0,9 до 35 м. Восточная полоса в результате размыва превращена в цепь останцов.

Руды приурочены к контакту доломитовой свиты и перекрывающих ее свит гриквatаун или гамагара (матсап). Первые две свиты относятся к трансваальской системе, а последняя – к ватербергской системе нижнепротерозойского возраста. Рудная зона почти повсеместно подстилается доломитами, и руда во многих местах в виде языков проникает в доломит (рис. 12). Кверху марганцевая зона обычно переходит в железистую зону, с которой она имеет более или менее ясно выраженную границу.

Руды представлены в основном псиломеланом и браунитом, реже манганитом. В незначительных количествах присутствуют родонит, барит, диаспор, литиофорит, эфесит (натриевый маргарит), опал, особенно в пустотах. Химический состав руд характеризуется значительными колебаниями: содержание марганца меняется от 25 до 50% (а иногда и выше), железа – от 5 до 32%, кремнезема – от 2 до 4% (в отдельных случаях до 8%), фосфора – от 0,034 до 0,06%. Преобладают руды с содержанием марганца 40–48%. В 1980 г. в ЮАР произведено 5695 тыс. т товарной марганцевой руды (около 2000 тыс. т по содержанию металла).

По поводу генезиса и возраста Постмасбургского месторождения существуют различные мнения. Некоторые исследователи считают, что марганцевые руды образовались в условиях латеритного выветривания марганецсодержащих метаморфизованных осадочных пород. Согласно Дю Тойту, руды месторождения являются гипогенными и образовались в результате замещения кремнистых пород, брекчий, конгломератов или сланцев; рудообразование связано с послематсапскими (нижний палеозой) тектоническими движениями. По его мнению, марганец и железо выносились гидротермальными растворами, которые извлекали из пород подстилающей доломитовой свиты.

Сравнительно небольшие месторождения марганца докембрийского возраста известны в ряде других стран Африканского континента. Среди них по разведанным запасам и объему добычи выделяется издавна разрабатываемое месторождение *Нсута-Дагвин*, расположенное на территории Ганы, в 63 км от порта Такоради. Оно приурочено к горизонту марганецсодержащих филлитов и гондитов бирримской серии (2190 млн. лет). Среди богатых марганцевых руд выделяются разности, образовавшиеся в результате замещения, путем заполнения трещин и полостей и путем выщелачивания нерудных компонентов из низкосортных руд. Руды сложены главным образом минералами ряда пиролюзит – рамсделлит и криптомеланом; в небольших количествах присутствуют пиролюзит и литиофорит. Окислы марганца имеют вторичное происхождение, и их отложение связано с миграцией грунтовых вод и осаж-

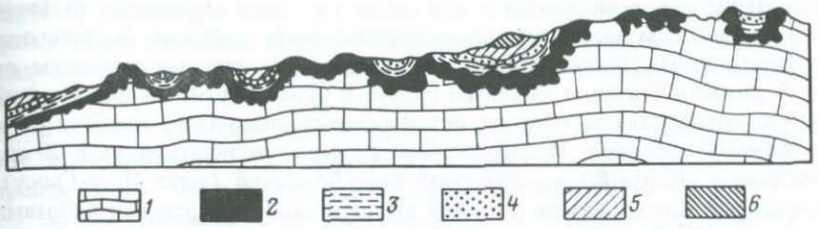


Рис. 12. Схематический разрез западного марганцевого пояса Постмасбургского месторождения:

1 – доломиты; *2* – железистая марганцевая руда и марганцовистые сланцы; *3–6* – свита гамагара; *3* – железистые сланцы и грубые песчаники, местами содержащие марганцевую руду, *4* – серые глиноземные сланцы, *5* – красные сланцеватые кварциты, *6* – главный пласт кварцитов гамагара

дением из них марганца в коллоидной форме. Преобладают металлургические руды, но имеются и химические сорта руд. Содержание марганца в лучших сортах руд составляет 52,8–61,6%, железа 1,6–4%, фосфора 0,11%, кремнезема 2,45–4,6%. Оставшиеся общие запасы руд составляют 10 млн. т. В 1980 г. добыто 240 тыс. т руды.

Осадочно-метаморфические месторождения марганца докембрийского возраста сравнительно широко распространены в Намибии в районе Очисонду. Руды содержат 40–48% марганца и представлены в основном браунитом. Запасы их оцениваются в 5 млн. т.

Месторождения марганца, приуроченные к докембрийским кристаллическим сланцам, известны также в Мали.

В Анголе полоса докембрийских осадочно-метаморфических месторождений марганцевых руд прослеживается на протяжении 100 км вдоль железной дороги Луанда – Маланже от Галунго-Альто на северо-западе до Пунго-Андонго на юго-востоке. Рудные минералы представлены псиломеланом, реже манганитом. Содержание марганца достигает 50%, а запасы оцениваются в 5 млн. т. В районе Уила – Робертс – Уилльямс имеются значительные запасы железомарганцевых руд.

Докембрийский возраст имеют месторождения марганца в Заире. Рудные залежи приурочены здесь к докембрийским метаморфическим сланцам и являются продуктами латеритного выветривания. Запасы месторождения *Кисенге* оцениваются в 13 млн. т, в том числе 3 млн. т высокого качества с содержанием марганца в рудах 50 – 52%. Месторождение расположено в провинции Катанга вблизи г. Кабове. Основным рудообразующим минералом является пиролюзит. В 1975 г. было добыто и экспортировано 308, 5 тыс. т богатой руды с содержанием марганца 30–57%. Более поздних сведений по добыче нет.

Докембрийские месторождения известны также в Мали и Ботсване. В Южной Америке значительными запасами высокосортных марганцевых руд докембрийского возраста (100 млн. т общих запасов и 50 млн. т достоверных) обладает Бразилия. Основные месторождения расположены в штатах Мату-Гросу, Минас-Жерайс, Баия и на территории Амапа. Марганцевые руды, по-видимому, образовались в резуль-

тате выщелачивания железа и кремнезема из марганцовистых итабиритов с попутным частичным перераспределением марганца. В частности, в рудах штата Минас-Жерайс наблюдаются постепенные переходы от итабиритов к богатым окисным рудам. В рудах других месторождений иногда присутствуют остатки незамещенных силикатов, карбонатов и сульфидов марганца. Месторождение *Урукум*, расположенное в 29 км севернее г. Корумбы вблизи границы с Боливией (штат Мату-Гросу), некоторые исследователи считают осадочным. Разведочными работами установлено, что месторождение представлено двумя пластами марганцевой руды, прогнозные запасы которых оцениваются в 100 млн. т при содержании марганца 46% и железа 11%. Месторождение с перерывами разрабатывается с 1906 г.; с августа 1976 г. добыча на нем возобновлена и в 1980 г. составила 200 тыс. т руды. Основная добыча марганцевой руды в стране в последнее время ведется на месторождении *Серра-ду-Навиу* (территория Амапа). Главный рудный минерал месторождения – криптомелан. Содержание марганца около 46%, а общие запасы месторождения оцениваются примерно в 20 млн. т. Псиломелан-пиролюзитовые руды с содержанием марганца 48–51%, кремнезема 2–4%, железа 5–8% и фосфора 0,1% добываются на месторождении *Морро-да-Минна* (штат Минас-Жерайс, район Бурниер), представляющем древнюю шляпу марганцевых руд на марганцево-железных рудах итабиритовой формации. В районе Келус этого же штата схожие марганцевые руды возникли в результате древнего выветривания марганцовистых пород. Доказанные запасы марганцевых руд штата Минас-Жерайс оцениваются в 10 млн. т.

Производство товарной марганцевой руды в стране в 1980 г. составило 1250 тыс. т.

В Азии крупные докембрийские месторождения марганцевых руд известны только в И н д и и. Общие запасы их оцениваются в 65 млн. т, а достоверные – в 30 млн. т. Основу ресурсов страны составляют гондитовые месторождения марганца, широко распространенные во многих штатах. Порода, к которой приурочены месторождения, известная под названием гондита, состоит преимущественно из спессартина, родонита и кварца. Меньшее практическое значение имеют другие докембрийские месторождения марганца, распространенные на восточном побережье, в штатах Мадрас и Орисса, известные под названием кодуритовых. Кодурит представляет собой интрузивную породу, состоящую в основном из калиевого полевого шпата, марганцевого граната и апатита, иногда с марганцевым пироксеном и амфиболом.

Наиболее крупный марганценосный район расположен в штатах Мадхья-Прадеш и Махараштра, где гондитовые месторождения марганца приурочены к меридиональной полосе длиной 190 км, шириной около 80 км. Рудные залежи обычно пластообразной или реже линзообразной формы часто отличаются крупными размерами и прослеживаются по простиранию на 3 км при мощности до 13–15 м. Руды, представленные преимущественно смесью псиломелана и браунита (встречаются также спессартин и родонит), характеризуются высоким качеством.

Относительно генезиса марганцевых месторождений Индии сущес-

твует предположение, что гондитовая свита и подчиненные ей марганцевые руды являются продуктом метаморфизма вулканогенно-осадочных спилит-кератофировых пород и связанных с ними марганценосных яшм.

В эксплуатируемых месторождениях руды залегают близко к дневной поверхности и разрабатываются открытым способом. В 1978 г. производство товарной марганцевой руды составило 1868 тыс. т.

Запасы докембрийских месторождений марганцевых руд Австралии, оцениваемые в 7 млн. т, представляют лишь ничтожную часть общих запасов страны. Месторождения сосредоточены в районе Пилбара близ хр. Хамерсли и приурочены к протерозойским отложениям. Рудные минералы представлены главным образом пиролюзитом и псиломеланом. Обычно среднее содержание марганца незначительно превышает 40%, но на отдельных объектах (месторождение Вуди-Вуди) оно составляет 52% при содержании железа 2% и кремнезема 3%.

ХРОМ

Более 98% общих запасов хромитов в капиталистических и развивающихся странах сосредоточено в сегрегационных и гистеромагматических месторождениях, пространственно и генетически связанных с ультраосновными породами докембрийского возраста. Последние обычно обладают полосчатой структурой, и согласно с их полосчатостью располагаются параллельные залежи хромитов самых разных размеров (рис. 13).

Бóльшая часть запасов хромитов (65%) сосредоточена на территории ЮАР. Основные месторождения их расположены в Трансваале, где они образуют два хромитоносных пояса: Лиденбургский длиной 112 км и Рустенбургский длиной 160 км, связанных с Бушвелдским дифференцированным стратифицированным комплексом ультраосновных изверженных пород.

В Лиденбургском поясе развито два, в Рустенбургском – три горизонта, в пределах которых залежи вкрапленных и массивных руд образуют параллельные прослои мощностью от 2 см до 2 м, подчиненные псевдостратификации вмещающих пироксенитов и анортозитов. Продуктивная зона представлена пироксенитом, обогащенным

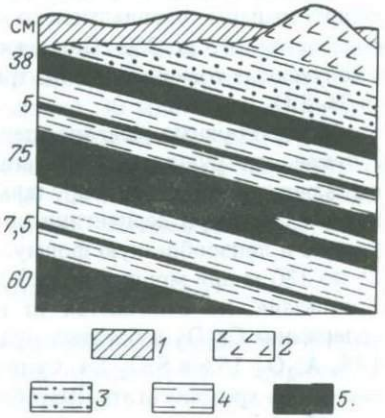


Рис. 13. Верхний хромитовый горизонт в Бушвелдском комплексе. Выработки Притчарда, Крунендаль, Трансвааль:

1 – наносы; 2 – анортозит; 3 – диаллаговое габбро; 4 – бронзитито-диаллаговая порода; 5 – хромит

бронзитом. Исходя из глубины, достигнутой горными выработками (150 м), и размеров оруденелых поясов (270 км при ширине 2,5–5,0 км), общие запасы хромитов оцениваются в 200 млн. т. Преобладают низкокачественные руды, и поэтому разрабатываются только обогащенные участки, в рудах которых содержание Cr_2O_3 колеблется от 36 до 45%, редко достигает 48%. Абсолютный возраст продуктивных пород определен в 1000 ± 100 лет.

Общие запасы хромитов в ЮАР составляют 2300 млн. т при среднем содержании Cr_2O_3 30–40%. В 1980 г. произведено 3394 тыс. т товарной руды.

Значительные запасы хромитов заключены в многочисленных месторождениях Зимбабве, приуроченных к породам Великой дайки, которая протягивается через центральную часть страны на 560 км при видимой мощности от 3,2 до 12,9 км. Великая дайка в петрографическом отношении весьма сходна с Бушвелдским комплексом и также характеризуется резко выраженной псевдостратификацией слагающих ее пород с образованием пологой псевдосинклинальной структуры. Ее центральную часть слагают нориты, а крылья – подстилающие их перидотиты, дуниты, пироксениты и гарцбургиты, а также тальковые и хлоритовые сланцы и серпентиниты.

„Слои" хромитов мощностью 10–25 см приурочены к четырем сходным комплексам пород, котрые характеризуются исключительно правильной слоистостью и представлены последовательно сменяющимися дунитами, гарцбургитами и пироксенитами. По простиранию эти комплексы пород прослеживаются почти непрерывно на протяжении от 50 до 300 км. Содержание Cr_2O_3 в разрабатываемых рудах составляет 48%. Широко распространены элювиальные россыпи, в которых содержание хромита колеблется от 3 до 35%. Они легко обогащаются флотационным методом, и полученные товарные концентраты содержат от 53 до 55% Cr_2O_3 и около 2% SiO_2.

Менее крупные месторождения хромитов распространены в районе Селукве, где рудные тела залегают преимущественно среди серпентинизированных гарцбургитов, тальковых, хлоритовых, тальково-карбонатных сланцев и серпентинитов и обычно имеют неправильную жилообразную и линзообразную форму. Длина их по простиранию колеблется от 25 до 180 м при мощности от 3 до 6 м. Руды весьма сходны с хромитами Трансвааля, но отличаются от них более высоким качеством. Среднее содержание Cr_2O_3 в богатых рудах составляет около 50%, FeO 11%, MgO 13%, Al_2O_3 15% и SiO_2 5%. Судя по содержанию алюминия и магния, руда состоит из хромпикотита. Разработки ведутся открытым способом.

Общие запасы хромитов Зимбабве составляют 100 млн. т. Добыча хромитов в 1980 г. составила 553 тыс. т.

С докембрийскими ультраосновными породами, серпентинитами, тальковыми и хлоритовыми сланцами связаны сравнительно мелкие месторождения хромитов юго-восточной части Сьерра-Леоне. В рудах месторождения, расположенного в 10 км севернее населенного пункта Ханга (район Каннемы), среднее содержание Cr_2O_3 составляет 45,4%, FeO 13%, Al_2O_3 20,5%.

Сравнительно широко распространены месторождения хромитов на Мадагаскаре, достоверные запасы которых оцениваются в 5 млн. т. Разработка их производится преимущественно в районе Андриамена на месторождениях *Беманевика* и *Анказадоулана*. В 1980 г. здесь добыто 320 тыс. т сырой руды, из которой получено 169 тыс. т концентрата с содержанием 50–52% Cr_2O_3.

Многочисленными месторождениями хромита докембрийского возраста располагает Индия. Разрабатываемые месторождения расположены в штатах Орисса, Бихар, Майсур и Андхра, где они приурочены к серпентинитам и серпентинизированным ультраосновным породам. Содержание Cr_2O_3 в рудах колеблется от 38 до 56%. Месторождения отличаются скромными масштабами; достоверные запасы хромитов Индии составляют 7 млн. т; добыча их снизилась с 500 тыс. т в 1975 г. до 321 тыс. т в 1980 г.

В США известно большое количество месторождений низкосортных хромитовых руд, из которых наиболее значительные сосредоточены в штате Монтана и приурочены к поясу докембрийских ультраосновных пород, преимущественно габбро-норитов. Залежи массивных и вкрапленных руд имеют пластообразную и линзообразную форму. Мощность их колеблется от 0,45 до 2,5 м при протяженности до 600–900 м. Лучшие сорта руды содержат 30–40% Cr_2O_3. Общие запасы хромитов США составляют 15 млн. т. В 1960 г. добыто 103 тыс. т руды; данные о более поздней добыче отсутствуют.

К докембрию, вероятно, относятся хромиты Бразилии, разрабатываемые в штате Баия на месторождении Педриньянс. Достоверные запасы хромитов в стране составляют 10 млн. т, а добыча их в 1980 г. достигла 260 тыс. т.

Низкосортные хромиты докембрийского возраста открыты также в Финляндии. Разрабатывается месторождение в районе Кеми, общие запасы хромитов которого составляют 30 млн. т при среднем содержании Cr_2O_3 24%. В 1977 г. добыча руд достигла 602 тыс. т и к 1980 г. снизилась до 341 тыс. т. При обогащении руд получаются концентраты, содержащие 40–42% Cr_2O_3 при выходе 20–40%. Разведано еще одно месторождение с запасами 47 млн. т руды, содержащией 30% Cr_2O_3.

АЛЮМИНИЙ (ВЫСОКОГЛИНОЗЕМНОЕ СЫРЬЕ)

Промышленные месторождения бокситов докембрийского возраста неизвестны. Среди докембрийских пород исключительно широко распространены различные кристаллические сланцы, в которых в качестве основных породообразующих минералов присутствуют силлиманит, кианит, андалузит и реже корунд. При достаточно высоком содержании этих минералов порода становится весьма ценной рудой и используется для производства ответственных огнеупоров, сплавов алюминия с кремнеземом (силумин), а корундсодержащие породы – в качестве абразивов. Минеральный состав таких кристаллических сланцев, залегание в виде хорошо выдержанных пластов или пластообразных залежей, тесная ассоциация, а иногда и частая перемежаемость с гранатовыми, графитовы-

ми, магнетит-амфиболовыми сланцами, парагнейсами и кварцитами, несомненно, свидетельствует об их осадочно-метаморфическом происхождении за счет богатых глиноземом, железом и кремнеземом глинистых сланцев, песчаников и в ряде случаев бокситов и бокситоподобных глин.

В этом отношении интерес представляют открытые в *Южной Якутии* (С С С Р) коренные месторождения корунда и кианита, приуроченные к строго определенному горизонту гидротермально измененных архейских парагнейсов. Залежи корундовых и кианитовых пород имеют линзообразную форму и характеризуются небольшими размерами – несколько десятков метров по простиранию и 3–5 м по мощности.

Главные породообразующие минералы – корунд и кианит, и в зависимости от их содержания различаются переходные разности от чисто корундовых пород к чисто кианитовым. Кроме этих минералов в породах в переменных количествах присутствуют серицит и хлорит, встречаются маргарит, турмалин, диаспор, актинолит, флогопит, а также акцессорные минералы – рутил, ильменит, гематит, альбит, молибденит, пирит, халькопирит. Корунд рубинового цвета образует изометрические зерна, иногда хорошо ограненные кубические кристаллы, размеры которых обычно не превышают нескольких миллиметров. Кианит зеленого или изумрудно-зеленого, реже синевато-серого цвета встречается в удлиненно-призматических кристаллах длиной до 7–10 см, очень часто образующих радиальные сростки или грубозернистые агрегаты радиально-лучистого строения, в которых иногда встечаются многочисленные зерна ярко-розового и красного корунда. По химическому составу кианиты характеризуются большой чистотой и весьма высоким содержанием глинозема.

Геологическая позиция залежей корунда и кианита не оставляет сомнения в их первичноосадочном происхождении, а высокое содержание в них глинозема позволило автору высказать предположение о том, что они образовались в результате метаморфизма пород типа бокситов.

Кианитовые, силлиманитовые и корундовые породы, также приуроченные к комплексу кристаллических сланцев архейского возраста, разрабатываются в И н д и и с конца прошлого века. Эти месторождения широко распространены во многих районах страны и отличаются исключительно высоким содержанием в рудах корунда, силлиманита и кианита, которые нередко встречаются в виде почти мономинеральных пород.

Продуктивные залежи заключены в разнообразных по составу гнейсах и кристаллических сланцах, прорванных гранитами также архейского возраста. Широко развиты гранит-пегматиты и кварцевые жилы, часто с турмалином, реже с топазом, дюмортьеритом, рутилом и роскоэлитовой слюдой. Силлиманитовые, кианитовые и корундовые залежи наиболее часто ассоциируют с биотит-кордиеритовыми и хлорит-мусковитовыми сланцами, с которыми они связаны постепенными переходами. Около рудных залежей вмещающие их сланцы часто обогащены турма-

лином и рутилом, и нередко на них образуются кварцитовые оторочки с гематитом, серицитом и рутилом.

В самих залежах также почти постоянно, но в небольших количествах присутствуют турмалин, рутил, гематит, биотит и мусковит. За счет замещения кианита и силлиманита часто развиваются серицит и дамурит. В ряде месторождений отмечается широкое проявление турмалинизации, в результате которой образуются почти мономинеральные турмалиновые породы. Характерно, что эти породы пересекаются прожилками и жилами силлиманита. Кианит и силлиманит чрезвычайно разнообразных окрасок образуют радиально-лучистые агрегаты и пластины длиной до 30 см. Корунд встречается в форме массивных скоплений изометрических зерен. В зависимости от содержания минералов в породе различаются собственно корундовые, силлиманитовые и кианитовые руды, а также смешанные силлиманит-корундовые и кианит-корундовые разности.

Размеры рудных залежей, обычно имеющих форму линз, гнезд или пластовых чечевиц, изменяются в широких пределах. Длина их колеблется от нескольких метров до нескольких десятков и даже сотен метров, мощность – от 2–3 до 20–30 м. Главная залежь месторождения *Лапса-Буру* прослежена по простиранию на 1,5 км при мощности до 300 м. Запасы кианита и силлиманита в наиболее крупных месторождениях не превышают 100 тыс. т. Более скромными являются запасы корунда. В последние годы добывается преимущественно кианит, который целиком предназначен для экспорта в США. Сведения о добыче корунда отсутствуют.

К докембрийскому возрасту относятся месторождения корунда Ю А Р, которые в прошлом являлись главными поставщиками этого сравнительно редкого минерала. Основные месторождения сосредоточены в северной и северо-восточной частях Трансвааля, где многочисленные залежи корундовых пород сконцентрированы на площади около 8000 км². По минеральному составу здесь выделяются два типа продуктивных залежей: плюмазитовые, состоящие из корунда и плагиоклаза, и марундитовые, представленные корундом и маргаритом. Жилы, пластообразные, линзообразные, а иногда и трубчатые залежи плюмазитов и марундитов залегают среди ультраосновных пород (серпентинитов, перидотитов, пироксенитов или горнблендитов) и отличаются разнообразными размерами и весьма изменчивым минеральным составом. Вмещающие ультраосновные породы на контакте с корундовыми залежами обычно нацело превращены в тальковую породу, а местами между тальковой породой и залежью развита слюдяная зона.

В разрабатываемых залежах южноафриканских месторождений содержание корунда составляет 35–50%. Он развит либо в виде хорошо ограненных столбчатых или таблитчатых кристаллов длиной до 10 см, а иногда и более, либо в виде неправильных грубозернистых скоплений. Эпигенетически он частично замещен серебристым маргаритом и гиббситом. Вместе с корундом постоянно присутствуют фторапатит, черный турмалин, гранат, гиббсит, силлиманит, магнетит и циркон. В плюмазитах,

кроме плагиоклаза (от олигоклаза до андезина), обычно наблюдается биотит. В марундитах иногда встречаются турмалин, фуксит (хромсодержащая слюда) и кианит; в небольших количествах присутствуют плагиоклаз и биотит. Маргарит широко распространен и в плюмазитовых залежах, где он часто замещает плагиоклаз и особенно корунд. В некоторых залежах центральная часть сложена кварцсодержащим плагиоклазовым пегматитом, который ближе к зальбандам переходит в бескварцевый плагиоклазит и далее в плюмазит или плагиоклаз, содержащий марундит.

Сведения о запасах корунда в месторождениях ЮАР отсутствуют. Годовая добыча колебалась от 1,5 до 4,5 тыс. т.

Аналогичные корундовые месторождения известны в Зимбабве вблизи Селукве и в ряде других районов Южной Африки.

Относительно генезиса месторождений корунда большинство исследователей придерживаются точки зрения, высказанной впервые Дю Тойтом, согласно которой корундовые залежи образовались в результате десиликации пересыщенных минерализаторами гранитных пегматитов и отчасти аплитов при их взаимодействии с вмещающими ультраосновными породами.

В докембрийских метаморфических толщах многих стран широко распространены силлиманит-, кианит- и андалузитсодержащие кристаллические сланцы, в которых корунд не встречается или присутствует лишь в качестве акцессорного минерала. Породы с содержанием этих минералов до 7–10% известны почти во всех районах развития докембрийских образований и иногда прослеживаются по простиранию на 150–200 км. Среди них выделяются отдельные продуктивные горизонты с содержанием высокоглиноземистых минералов 25% и более.

В СССР значительные площади развития кианитовых сланцев известны на Кольском полуострове, где они приурочены к мощной толще интенсивно и многократно метаморфизованных осадочных отложений протерозойского возраста, слагающих крупный синклинорий общего северо-западного простирания. Снизу вверх эта толща представлена: 1) биотитовыми и биотит-гранатовыми гнейсами; 2) мусковит-гранатовыми сланцами; 3) кварц-кианитовыми сланцами; 4) кианит-ставролитовыми сланцами; 5) кварц-мусковит-ставролитовыми сланцами; 6) кварц-мусковитовыми сланцами; 7) известняками и окремненными песчаниками. Комплекс этих пород прорван протерозойскими интрузиями порфировидных микроклиновых гранитов и анортозитов; встречаются пластовые и секущие тела амфиболитов.

Содержание кианита в сланцах весьма изменчиво; к продуктивным разностям относятся сланцы, в которых оно составляет в среднем не менее 27%. Встречаются богатые разновидности кристаллических сланцев, содержащие более 40% кианита, а в отдельных обогащенных участках 75–80%, иногда встречаются почти мономинеральные скопления.

Кианит проявляется в форме резко различных по окраске и морфологическим признакам разновидностей, но преобладает минерал черной окраски. В районах развития кварцевых жил широко распространен го-

лубой кианит, присутствующий и в самих кварцевых жилах. Встречаются синевато-серые кианиты и белые параморфозы их по хиастолиту. Преобладают длиннопризматические кристаллы кианита (от долей миллиметра до 1–3 см), равномерно рассеянные в сланцах, реже он образует радиально-лучистые агрегаты.

Основные породообразующие минералы сланцев – кианит и кварц. В заметном количестве встречаются слюды (7–12%) и углистое вещество (2–3%). В некоторых разновидностях кристаллических сланцев вместо кианита присутствует силлиманит и широко развиты графит и кордиерит. Весьма часто наблюдается гранат. Обогащенные кианитом кристаллические сланцы обычно отличаются тонкой сланцеватостью.

Широко распространены высокоглиноземные кристаллические сланцы и в других районах развития докембрийских пород. В ряде районов Восточной Сибири они занимают значительные площади, нередко образуя маркирующие горизонты, которые прослеживаются на протяжении десятков километров. Минеральный состав их довольно однообразен. Породообразующие минералы – кварц, кианит или силлиманит, биотит и мусковит. Часто в значительных количествах присутствуют ставролит и гранат. В зависимости от содержания этих минералов выделяются разновидности тех или иных пород и руд. В Забайкалье среди протерозойских метаморфических пород, образующих крупную антиклинальную структуру, встречены сланцы, которые почти целиком сложены кварцем и силлиманитом (фибролитом). Иногда в заметных количествах присутствуют калишпат, альбит, мусковит и биотит. В качестве постоянных примесей наблюдаются рутил (0,5–5%), циркон (до 0,5%), магнетит (до 0,5–1%), реже топаз, ильменит и кианит.

Несмотря на весьма широкое распространение во многих странах месторождений кианита и силлиманита, область применения этих полезных ископаемых пока ограничивается только огнеупорной промышленностью. Для производства алюминия и его сплавов предпочтительно использовались бокситы как более экономичный вид минерального сырья.

МЕДЬ, НИКЕЛЬ, КОБАЛЬТ

Значительные ресурсы меди сосредоточены в месторождениях докембрийского возраста; они имеют большой удельный вес в мировой добыче этого металла. При этом основные ресурсы меди и бóльшая часть добычи сосредоточены всего в немногих крупных, даже уникальных месторождениях или меднорудных районах, которые издавна пользуются мировой славой. Для этих месторождений весьма характерен комплексный состав руд, в которых наряду с медью заключены крупнейшие ресурсы никеля и кобальта, а также значительные запасы цинка, свинца, серебра, золота, платины и других полезных компонентов. При этом особенно большое экономическое значение имеют докембрийские медистые песчаники и сульфидные медно-никелевые руды.

Одним из крупнейших в мире районов развития медистых песчаников является *Катанга-Родезийский* меденосный пояс в Африке, который

протягивается в юго-восточном направлении от района Колвези в Катанге (З а и р) до рудника Бвана-Мкубва в З а м б и и. В пределах Замбии меденосная площадь занимает около 30 тыс. км². К ней с северо-запада примыкает меденосный район Заира (Верхняя Катанга), который протягивается на 300 км при ширине 50–60 км. Месторождения отличаются исключительно высоким качеством руд, в которых наряду с медью в значительных количествах содержатся кобальт и другие полезные компоненты.

Оруденение приурочено к рудной серии системы катанга, возраст которой до настоящего времени достоверно не определен. Ряд исследователей считают рудную серию моложе системы витватерсранд Трансвааля, но вопрос о том, является ли серия кунделунгу, перекрывающая рудную серию, верхнедокембрийской или нижнепалеозойской, оставался нерешенным. Однако, по последним данным, абсолютный возраст оруденения определяется в 600 млн. лет, что соответствует верхнему протерозою. Это подтверждается также данными определения абсолютного возраста уранинита месторождения Шинколобве (630 млн. лет), которое, судя по геологическим позициям, одновозрастно с месторождениями Катанги и Замбии.

Л. Каэн (1958) приводит следующий разрез рудной серии, составленный в районе месторождения Западный Камбове в Заире:

1. Известняк с черной рудой, кремнистый, толстослоистый, доломитовый . . . . . Более 350 м
2. Доломитовые сланцы с графитистыми прослоями, в нижней части с пачкой кремнистых доломитов, содержащих строматолиты . . . . . 50 ”
3. Кремнистые ячеистые массивные доломитовые породы с макрокристаллами карбоната (встречаются строматолиты) . . . . . 15 ”
4. Листоватые кремнистые породы; более или менее кремнистые доломиты, обычно ясно слоистые, полосчатые . . . . . 7 ”
5. Нижние доломиты и глинисто-тальковые породы – комплекс, затронутый гидротермальным метаморфизмом, неизвестным в других породах; мощность точно не установлена, но, вероятно, значительна.

Минерализация обычно приурочена к определенным слоям и горизонтам, но некоторые горизонты, оруденелые в одном районе, не несут оруденения в другом. В Замбии рудоносные горизонты представлены главным образом слабо метаморфизованными и дислоцированными сланцами, аргиллитами, полевошпатовыми песчаниками и кварцитами (рис. 14). В Заире рудоносны доломиты или доломитовые сланцы, расположенные в разрезе значительно выше, претерпевшие более интенсивную складчатость и разбитые серией продольных и поперечных сбросов – вплоть до образования надвиговых чешуй.

В Заире месторождения часто располагаются на гребнях антиклинальных структур. Рудные залежи обычно имеют пластообразную форму, согласно залегают с вмещающими породами и вследствие интенсивной складчатости часто выходят на поверхность, поэтому они в значительной своей части доступны для открытых разработок. В отдельных случаях

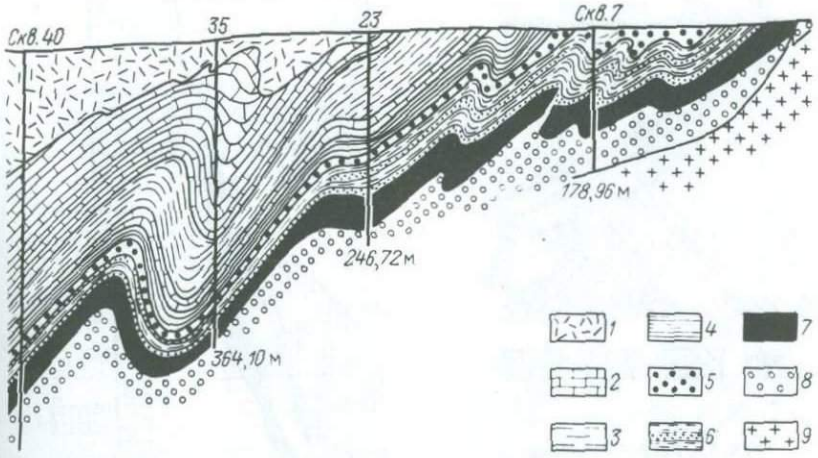


Рис. 14. Разрез месторождения Чамбиши:

1 – габбро; *2* – доломиты; *3* – песчанистые сланцы; *4* – кварциты и сланцы; *5* – верхний горизонт кварцитов; *6* – кварциты висячего бока; *7* – сульфидные руды; *8* – кварциты лежачего бока; *9* – граниты

оруденение наблюдается также вдоль зон разломов и надвигов (рис. 15, 16, 17). Мощность рудоносной свиты достигает 80 м, мощность рудоносных пластов различна и колеблется от 2 до 35 м. Длина их по простиранию также изменяется в широких пределах: от десятков метров до 1000 м, а иногда и более.

Отчетливо выражена зона окисления, глубина которой на некоторых месторождениях превышает 150 м. В зоне окисления развиты малахит, азурит, хризоколла, куприт, самородная медь, гетерогенит, асболан и др., в зоне вторичного обогащения – борнит, халькозин и ковеллин.

Разрабатывались преимущественно окисленные руды, в которых среднее содержание меди составляет 4–7%, но нередко достигает и 10–15%. Среди них различают два типа руд: „зеленую руду", представленную главным образом малахитом и хризоколлой, и „черную руду", которая состоит из сложной землистой смеси оксидов меди (тенорит и мелаконит), кобальта (гетерогенит), железа и марганца.

Рудные минералы первичной сульфидной зоны представлены халькопиритом, пиритом, халькозином, борнитом, сфалеритом, гематитом, магнетитом, галенитом. Из нерудных минералов обычны кварц, турмалин и карбонаты. В сульфидных рудах содержание меди обычно не превышает 3–4%. После рудоразборки и простейшего обогащения содержание меди в „зеленой руде" повышалось до 24% и кобальта до 4–5%; из „черной руды" получался концентрат, содержащий 20% меди и 2% кобальта.

Медистые песчаники Катанги заключают значительные запасы кобальта. Последний концентрируется главным образом в зоне окисления, где

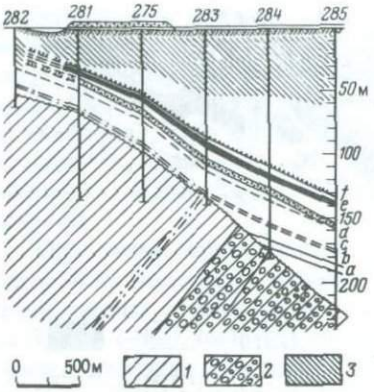


Рис. 15. Разрез рудника Этуаль-дю-Конго:

1 – нижняя и средняя серии кунделунгу; *2* – большой конгломерат; *3* – рудная серия (*a* – *f*), надвинутая на систему кунделунгу: *a* – оолитовые доломиты; *b* – формация с „зеленой рудой"; *c* – граница горизонтов SD и RSC; *d* – подгоризонт; *e* – графитовые породы, прослои большой мощности; *f* – крупнокристаллические доломиты. Стрелка указывает направление надвига

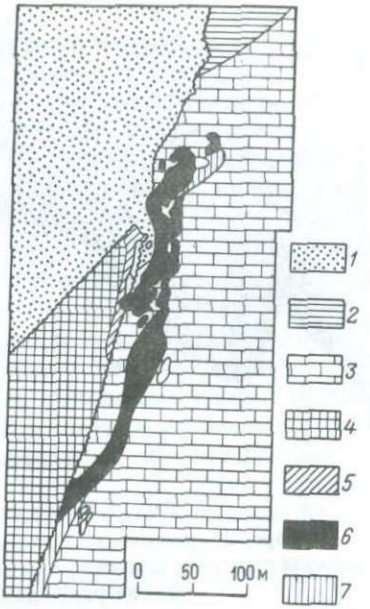


Рис. 16. Разрез рудника Принц Леопольд месторождения Кипуши:

1 – брекчия; *2–4* – отложения нижней серии кунделунгу: *2* – сланцы, *3* – доломиты, *4* – известковистые сланцы; *5* – известковистые сланцы с медной минерализацией; *6* – доломит с медной и полисульфидной минерализацией; *7* – цинковая руда

на отдельных наиболее обогащенных участках руды содержат в среднем 1–2% кобальта. В богатых разновидностях руд крупного рудника Мусенои содержание кобальта достигает 6–8%.

Кроме меди и кобальта, месторождения Катанги заключают значительные ресурсы цинка, общие запасы которого превышают 2 млн. т при содержании в руде около 2%. Руды содержат также в промышленных концентрациях платину, кадмий, германий, серебро, уран и другие полезные ископаемые. В ряде рудных залежей месторождения Принц Леопольд в значительном количестве содержится рениерит – сложный сульфид германия, меди, железа и мышьяка.

Официальные данные о запасах меди в Заире не публикуются с 1940 г. Ориентировочно, по имеющимся в литературе данным, общие запасы меди определяются в 36 млн. т, доказанные – 22 млн. т при среднем содержании ее в рудах соответственно, 3,7 и 4,4%. Производство меди в концентрате в 1980 г. составило 460 тыс. т. Всего за 80 лет добыто около 8 млн. т меди. Бóльшая часть руд разрабатывается открытым способом.

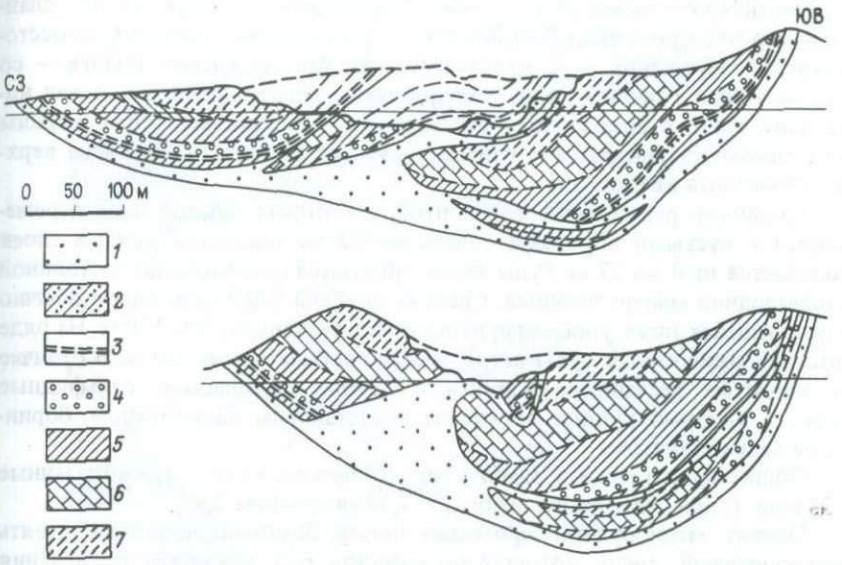


Рис. 17. Разрезы рудника Камбове. Комплексы рудной серии (2–7) свиты роан надвинуты на верхнюю серию кунделунгу:

1 – тектоническая брекчия; *2* – слои RAT; *3* – тонколистоватые песчаники RSF; *4* – окремнелые породы со строматолитами RSC; *5* – доломиты SD; *6* – известняки с черной рудой CMN; *7* – верхние доломиты DS

Большие количества меди и кобальта ежегодно добываются на руднике *Мусенои*. Добываемые здесь руды делятся на три сорта: окисленные медные с содержанием 5–6% меди и 0,2–0,3% кобальта; окисленные медно-кобальтовые, содержащие 4–5% суммы меди и кобальта, и смешанные окисленно-сульфидные медно-кобальтовые. Они перерабатываются на местных металлургических заводах, продукция которых в виде черновой меди, кобальто-медистых и кобальтовых сплавов экспортируется. Данные об извлечении других попутных компонентов отсутствуют. Известно, что германий извлекался из пыли, оседающей в дымоходах плавильных печей, и получаемый продукт направлялся в Бельгию для окончательной обработки.

Заир занимает ведущее место в несоциалистическом мире по производству кобальта, добываемого попутно с медью. Общие запасы его на начало 1981 г. составляли 680 тыс. т, а доказанные – 450 тыс. т при содержании в рудах 0,25–2,0%; в 1980 г. добыто 14,7 тыс. т кобальта.

В Замбии меденосный пояс расположен в северной части страны, где он протягивается вдоль границы с Заиром на 220–225 км. Меденосные горизонты приурочены преимущественно к континентальным обломочным отложениям системы катанга, залегающим на древних гнейсах и гранитах и образующим ряд крупных мульд. Оруденение в каждой мульде связано с одним определенным литологическим горизонтом –

доломитизированными кварцитами, слюдистыми песчаниками или сланцами (на месторождении Роан-Антелоп – с аспидными сланцами, на месторождении Муфулира – с кварцитами, на месторождении Нчанга – со сланцеватыми глинами роан, с кварцитами, залегающими выше или ниже этих глин, с аркозовыми песчаниками, находящимися над нижним горизонтом кварцитов, и с известняками, расположенными выше верхнего горизонта кварцитов).

Мощность рудоносных горизонтов, в которых рудные слои перемежаются с пустыми породами, достигает 80 м, мощность рудных слоев колеблется от 4 до 27 м. Руды характеризуются сравнительно постоянной и однородной минерализацией. Средняя глубина зоны окисления, обычно опускающейся ниже уровня грунтовых вод, составляет 80–100 м. На ряде участков окисленные руды встречены на глубине более 200 м. В отличие от медистых песчаников Катанги в Замбии преобладают сульфидные руды, в которых рудные минералы представлены халькозином, борнитом и халькопиритом.

Общие запасы меди в Замбии определяются в 54 млн. т, а доказанные в 34 млн. т, при содержании меди 2,5–7,7%, в среднем 2,9%.

Основу меднорудной промышленности Замбии составляют девять месторождений, среди которых по качеству руд, масштабу оруденения и размеру добычи особенно выделяются месторождения *Нчанга* и *Муфулира* (табл. 3). На месторождении Нчанга за время эксплуатации с 1929 г. уже добыто более 4,5 млн. т меди при среднем содержании ее в добытых рудах около 5%.

В 2,5 км от месторождения Чибулума открыто и введено в эксплуатацию месторождение *Западная Чибулума*, разведанные запасы медных руд которого составляют 2 млн. т при содержании в них меди 4,7% и кобальта 0,05%.

Добыча меди в Замбии, достигшая 709 тыс. т в 1976 г., снизилась до 596 тыс. т в 1980 г.

В рудах почти постоянно присутствуют кобальт, цинк; часто руды содержат уран в тысячных, иногда в сотых долях процента. Содержание

Таблица 3

Разведанные запасы меди крупнейших месторождений Замбии

Месторождения	Запасы меди, тыс. т	Среднее содержание меди, %
Нчанга	9329	4,39
Муфулира	5321	3,34
Банкрофт	3253	3,66
Нкана (включая Миндола)	3300	2,92
Роан-Антелоп	2469	2,92
Балуба	2448	2,41
Чамбиши	1079	3,37
Чибулума	409	4,60
Кансапшин	108	3,60

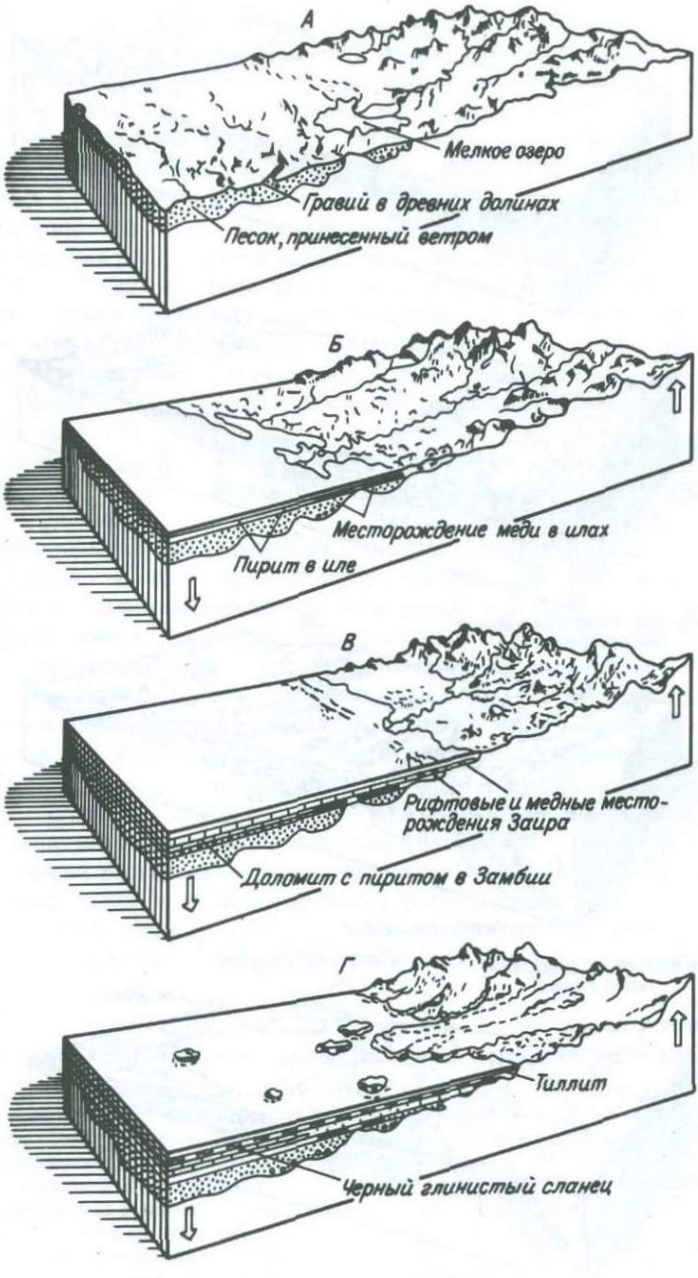
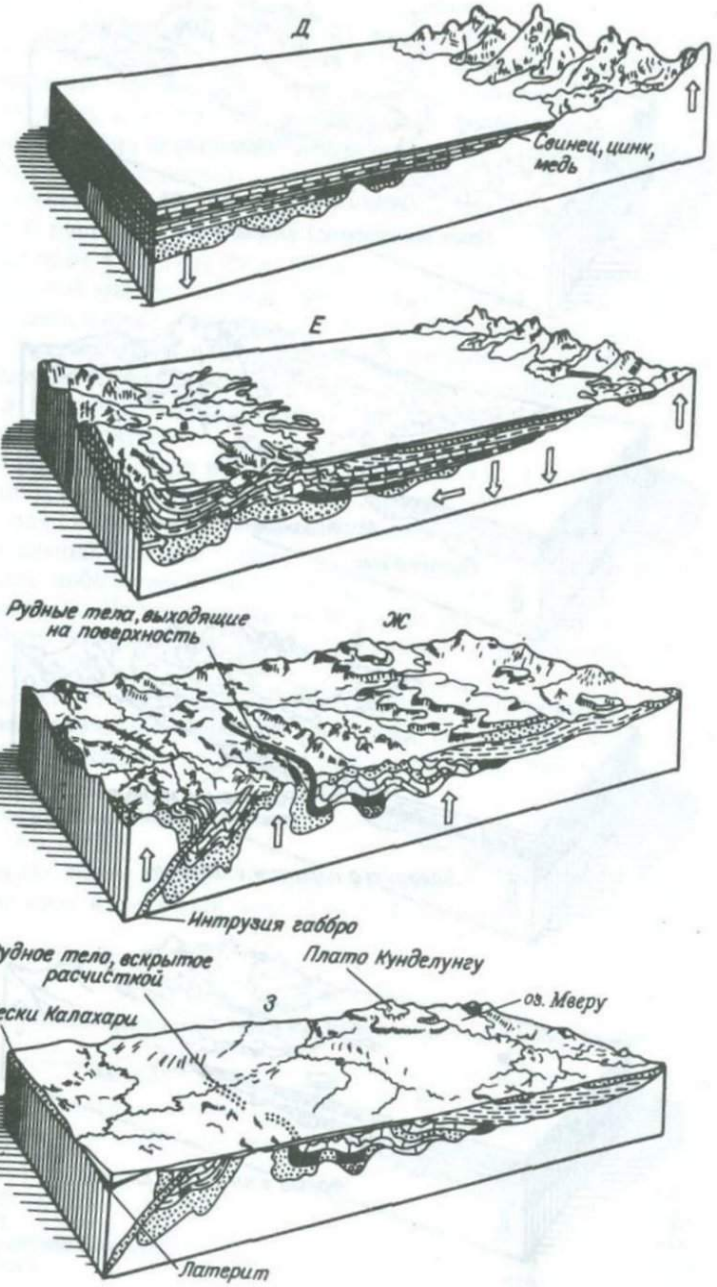

А
Мелкое озеро
Гравий в древних долинах
Песок, принесенный ветром
Б
Месторождение меди в илах
Пирит в иле
В
Рифтовые и медные месторождения Заира
Доломит с пиритом в Замбии
Г
Тиллит
Черный глинистый сланец

Рис. 18.


Д
Свинец, цинк, медь
Е
Рудные тела, выходящие на поверхность
Ж
Интрузия габбро
Рудное тело, вскрытое расчисткой
Плато Кунделунгу
Пески Калахари
З
оз. Мверу
Латерит

кобальта в добываемых медистых песчаниках Замбии несколько меньше, чем в рудах Заира (от 0,07 до 0,25%), так как здесь разрабатываются в основном сульфидные руды, в которых кобальт присутствует в виде карролита. Добыча кобальта сосредоточена на месторождениях Нкана, Балуба и Чибулума, где содержание его в рудах колеблется от 0,15 до 0,22%. Общие запасы кобальта в стране оцениваются в 350 тыс. т при содержании его в рудах 0,09–0,4%. В 1980 г. в Замбии произведено 3,35 тыс. т кобальта; предполагается довести его производство в середине 80-х годов до 7,0 тыс. т за счет вовлечения в разработку выявленных новых богатых руд и строительства нового завода в Рокане.

Вопрос о генезисе медных руд Заира и Замбии продолжает оставаться нерешенным. Одни исследователи считают их эпигенетическими, другие полагают, что циркуляция гидротермальных растворов обусловила только перераспределение металлов в ранее образованных сингенетических рудных слоях, а третьи относят эти руды к чисто осадочным образованиям (рис. 18).

Справедливость последней гипотезы подтверждается отсутствием в меденосных районах интрузивных проявлений, соответствующих по возрасту оруденению.

Сторонники сингенетической гипотезы считают, что в ее пользу свидетельствуют: а) пластовый характер минерализации, послойное размещение руд и приуроченность их к определенным горизонтам; б) отсутствие минерализации в некоторых благоприятных для проявления эпигенетических процессов горизонтах и видимых путей проникновения рудных растворов вне пределов минерализованных зон; в) постоянство состава минерализации на значительных расстояниях по простиранию и резкое изменение его в направлении, перпендикулярном к простиранию.

Считают, что отчетливо проявленное в месторождениях Замбии зональное расположение сульфидов меди, кобальта и железа связано с древними береговыми линиями и осаждением этих металлов в порядке, обратном степени растворимости их сульфидных соединений. Ближе к берегу отлагалась медь, и поэтому наиболее богатое оруденение приурочено к более грубым осадкам. Сланцы обычно отличаются сравнительно низким содержанием меди, а основная масса пирита приурочена к карбонатным породам.

Рис. 18. Схема формирования медистых песчаников Катанга-Родезийского района:

А – песчаные дюны пустыни и мелкие озера (с небольшими медными месторождениями) в нижнем роане; *Б* – медь и кобальт, принесенные реками и осажденные при помощи бактерий вблизи от берега, пирит осаждался в илах более глубоких вод; *В* – водорослевые рифы и доломиты (с медно-кобальтовыми месторождения типа Катанга); *Г* – первый период оледенения с ледниками и айсбергами в формациях мвашиа и тиллитах; *Д* – медные месторождения в известняках со свинцом и цинком в морях нижнего кунделунгу; *Е* – складчатообразование формаций катанга и отложение песчаников кунделунгу в озерах и морях; *Ж* – взброс и глубокая эрозия гор, образованных складчатыми осадочными отложениями катанга; *З* – современный ландшафт с формациями, скрытыми в основном почвами и латеритами и песками Калахари

Сторонники эпигенетической гипотезы обосновывают ее наличием оруденения жильной формы, отсутствием пострудных тектонических деформаций, приуроченностью оруденения к наиболее благоприятным для минерализации горизонтам, высокой температурой образования борнита (судя по его структуре), наличием в рудах топаза и турмалина.

Помимо двух изложенных выше гипотез происхождения медистых песчаников существует, также не лишенное основания, мнение о том, что циркуляция гидротермальных растворов обусловила только перераспределение металлов в ранее образованных осадочно-сингенетических рудных слоях.

Дискуссия о происхождении медных руд Заира и Замбии длится много лет, но решающие доказательства в пользу той или иной гипотезы до настоящего времени отсутствуют.

В С С С Р древние медистые песчаники известны в Восточной Сибири, где они приурочены к верхам сакуканской свиты удоканской серии нижнего протерозоя, сложенной кварцитовидными песчаниками с прослоями и линзами кварц-карбонатных пород, песчаников, алевролитов и аргиллитов (рис. 19). При этом нижние горизонты являются главным образом прибрежно-морскими отложениями, а верхние – преимущественно речными (дельтовыми) образованиями. Меденосные песчаники состоят в основном из обломочных зерен кварца, плагиоклаза и микроклина. В небольшом количестве встречаются обломки турмалина, циркона, сфена, апатита. Из новообразований развиты эпидот и мусковит. Цемент песчаников кварц-серицитовый и карбонатный.

Горизонт медистых песчаников слагает синклинальную складку, и контуры его выходов образуют на поверхности замкнутую эллипсовидную полосу. Обычно меденосный горизонт не имеет четких границ, характеризуется раздувами, пережимами, выклиниванием на отдельных участках и выделяется только по наличию в породах медной минерализации.

Верхние горизонты толщи медистых песчаников представлены в основном окисленными рудами. В них малахит, реже азурит и хризоколла пропитывают песчаники и образуют налеты, корочки и примазки на плоскостях слоистости и трещиноватости. Первичные сульфидные медные минералы представлены главным образом халькозином, в значительно меньшей степени борнитом, халькопиритом, ковеллином и образуют мелкую вкрапленность, линзочки и прожилки. К первичным минералам относятся магнетит, пирит, гематит, халькопирит, борнит, халькозин, сфалерит, к вторичным – халькозин, куприт, самородная медь, малахит, азурит, хризоколла, халькантит, гематит, гидрогётит.

Медистые песчаники Восточной Сибири – осадочного генезиса, первичное оруденение которых претерпело изменения в результате диагенеза, эпигенеза и метаморфизма. Процессы метаморфизма и окисления обусловили перераспределение минералов, а также частичный вынос меди за пределы пластов песчаников с последующим отложением ее в виде тонких (1–2 мм) прожилков сульфидов и в форме тонкой вкрапленности в кварцевых, кварц-карбонатных, кварц-полевошпатовых и кварц-эпидотовых жилах.

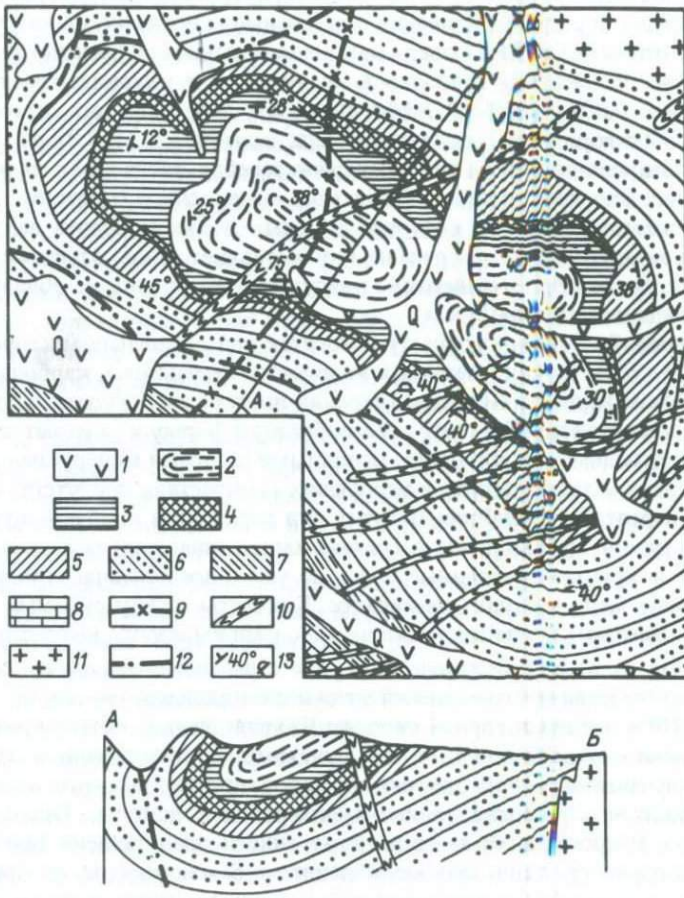


Рис. 19. Схема геологического строения Удоканского месторождения
(по Э. Гринталю, В. Чечеткину и др.):

1 – четвертичные отложения; *2* – намингинская свита – алевролиты, песчаники, аргиллиты; *3–5* – верхняя подсвита сакуканской свиты: *3* – надрудная пачка – известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты, *4* – рудная пачка-известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты, *5* – подрудная пачка – кварцитовидные и известковистые песчаники, алевролиты, конгломерато-брекчии; *6* – средняя подсвита сакуканской свиты – магнетитсодержащие песчаники, филлитовидные сланцы, гравелиты, конгломерато-брекчии; *7* – нижняя подсвита сакуканской свиты – песчаники, филлитовидные сланцы, гравелиты, конгломерато-брекчии; *8* – бутунская свита – известняки, алевролиты, известковистые песчаники; *9* – дайки граносиенит-порфиров; *10* – дайки габбро-диабазов; *11* – граниты чуйско-кодарского комплекса; *12* – разрывные нарушения; *13* – элементы залегания

Первоисточники меди в этих песчаниках не установлены. Спектральные анализы пород, окружающих меденосные отложения, не внесли ясности в этот вопрос. Так, содержание меди в гранитах и песчаниках, подстилающих меденосный горизонт, в основном ниже кларка и изменяется в пределах 0,003–0,01%. В габбро-диабазах, пересекающих отложения меденосного горизонта, содержание меди колеблется от 0,01 до 0,03%. Проанализированные породы не содержат серебра, тогда как в медистых песчаниках оно присутствует. Отложения меденосного горизонта и подстилающие их песчаники содержат в сотых долях процента ванадий; между тем в гранитах содержание его составляет лишь тысячные доли процента. В гранитах установлено присутствие бериллия, не обнаруженного в меденосных песчаниках.

К докембрийскому возрасту относится ряд осадочных месторождений меди К Н Р, приуроченных к кварцевым песчаникам, карбонатным и сланцевым горизонтам синия (верхний протерозой). Рудные тела осадочных месторождений имеют пластообразную форму и залегают согласно с вмещающими их породами. Основными рудными менералами являются борнит и халькопирит, в небольших количествах присутствуют тенорит, энаргит. Для наиболее богатых руд характерна плойчато-полосчатая текстура и преобладание в составе халькозина, иногда встречаются сетчатые и крупновкрапленные руды, но уже с преобладанием борнита. Содержание меди в рудах изменчивое. Контакты между рудными телами (горизонтами) и вмещающими их породами выражены неотчетливо.

Кроме медистых песчаников, в ряде стран известны также другие генетические типы месторождений меди докембрийского возраста.

В КНР в пределах горной системы Чжунтяошань открыто и разведано крупное месторождение медных руд, которые приурочены к дайкам метаморфизованных гранодиорит-порфиров протерозойского возраста, внедрившихся в рассланцованные вулканогенные породы. Оруденение относится к прожилково-вкрапленному типу и представлено халькопиритом и сопутствующим ему молибденитом. В зоне окисления главный минерал – малахит. Зона вторичного обогащения отсутствует. Формирование месторождения относится к позднему этапу развития досинийской геосинклинальной зоны.

В И н д и и своеобразные месторождения прожилково-вкрапленных медноколчеданных руд в метаморфических комплексах докембрия сосредоточены в основном в двух рудных поясах – Кхетри (штат Раджастхан) и Сингбхум (штат Бихар). Наиболее крупными месторождениями в Кхетри являются *Мадхан-Кудхан* (780 тыс. т меди при ее содержании в руде 1%) и *Колихан* (700 тыс. т – 2,3%), в Сингбхуме – *Ракха* (1180 тыс. т – 1,3%) и *Месабени* (730 тыс. т – 2,18%).

В С Ш А в северной части штата Мичиган к мощной осадочно-эффузивной серии къюиноу (протерозой) приурочено уникальное месторождение самородной меди озера Верхнего (Лейк Сюпириор). Рудоносные породы, представленные конгломератами, песчаниками и основными, преимущественно миндалекаменными эффузивами, образуют пояс длиной 160 км и шириной от 3,2 до 6,4 км. Рудные залежи в форме пластов

и реже секущих жил характеризуются различными размерами, сравнительно постоянным, но невысоким содержанием меди.

Средние мощности рудных залежей по отдельным участкам колеблются от 1,8 до 9 м, а содержание меди в них – от 1,1 до 2,25%. Основным рудообразующим минералом является самородная медь, которая проявляется в форме вкрапленности и отдельных скоплений. В конгломератах она нередко замещает не только цемент, но и материал гальки. Самородная медь сопровождается кальцитом, кварцем, эпидотом и пумпеллитом. В оруденелых миндалекаменных породах развиты цеолиты, пренит и датолит. В секущих жилах рудными минералами являются халькозин, арсениды меди, кобальта, никеля, а также самородная медь.

Месторождение меди озера Верхнего разрабатывалось индейцами еще с древних времен. Только с 1845 г. здесь добыто около 5 млн. т меди. Выработки достигли глубины 1600 м; большая часть оставшихся запасов руд относится к разностям, содержащим 1% меди.

На южном берегу озера Верхнего в 120 км к юго-западу от вышеописанных мичиганских месторождений разрабатывается месторождение самородной меди, приуроченное к кивинским сланцам и конгломератам. Годовое производство меди в концентрате составляет 55 тыс. т, при этой производительности считают, что рудник обеспечен на 100 лет разведанными запасами руд, распространенными на площади 32 км^2.

Месторождения самородной меди расположены также вдоль восточного побережья озера Верхнего на территории К а н а д ы, но масштабы их относительно невелики.

По поводу генезиса этих месторождений и источника оруденения существуют два мнения. Одни исследователи полагают, что медь целиком была привнесена гидротермальными растворами после складчастости кьюиноуских образований, другие считают, что первичные сингенетические медные руды в конгломератах и эффузивах были впоследствии переработаны восходящими гидротермальными растворами, обусловившими концентрацию меди в современных залежах. Большинство исследователей склонно считать оруденение позднедокембрийским.

Крупными источниками производства меди являются месторождения сульфидных медно-никелевых руд, относительно генезиса которых существует ряд гипотез. Одни исследователи рассматривают эти руды как продукты дифференциации собственно основной и ультраосновной магмы и относят их к ликвационно-магматическому типу. В частности, А. Н. Заварицкий считал, что обособление сульфидов от силикатной магмы происходило в жидко-магматическую стадию, а кристаллизация их – в послемагматическую, после затвердевания материальной породы.

Сторонники другой гипотезы связывают оруденение с постмагматическими гидротермальными растворами, проникшими в тектонически ослабленные зоны. По их мнению, в пользу гидротермального происхождения сульфидных медно-никелевых месторождений свидетельствует приуроченность большей части руд к сильно брекчированным зонам или сбросовым трещинам, отчетливая жильная форма рудных залежей в ряде месторождений, широкое проявление метасоматических

процессов, околорудные изменения вмещающих пород, наличие типичных гидротермальных минералов и сравнительно невысокая температура кристаллизации сульфидов.

Выделяются два типа промышленного оруденения – сингенетическое и эпигенетическое. Сингенетические руды обычно приурочены к определенным горизонтам, расположенным преимущественно в приподошвенных частях расслоенных дифференцированных интрузий. Они представлены пластообразными и линзообразными залежами вкрапленных руд, в которых содержание никеля составляет десятые доли процента (редко до 1,5%), кобальта – сотые доли процента и металлов платиновой группы – до 5 г/т. Характерен крупный размер рудных залежей, протяженность которых нередко достигает нескольких километров при мощности до первых десятков метров.

Более высоким содержанием полезных компонентов отличаются эпигенетические руды, приуроченные к тектоническим трещинам и зонам разрывных нарушений в материнских интрузивах и вмещающих их породах. Характерны сплошные и брекчивые руды в форме разнообразных жил, линз, гнезд, в которых содержание отдельно никеля и меди нередко превышает 1,5%. Обычно они сопровождаются вкрапленными и прожилково-вкрапленными рудами в форме пластообразных и линзообразных залежей.

За рубежом подавляющая часть разведанных запасов сульфидных медно-никелевых руд приходится на К а н а д у, на территории которой большинство месторождений размещено в двух провинциях: *Онтарио*, где на протяжении почти ста лет эксплуатации (1890–1980 гг.) добыто около 7 млн. т никеля (месторождения района Садбери и др.), и *Манитоба*, где рудные тела распространены преимущественно в пределах никеленосного пояса Томпсон (*Нелсон-Ривер*). Эти и ряд других месторождений Канадского щита образовались в докембрийское время и приурочены к протяженным зонам разломов, образование которых происходило после консолидации складчатых структур.

Месторождения района *Садбери* приурочены к обширному дифференцированному блюдцеобразному интрузивному массиву длиной 56 км. Нижняя часть его сложена разностями норитового состава, а верхняя – микропегматитами. Центральная часть массива покрыта вулканогенными и осадочными породами различного состава. Медно-никелевое оруденение приурочено к ослабленным брекчированным зонам в краевых частях норитового окаймления массива (рис. 20, 21).

Рудные залежи обычно пластообразной или дайкообразной формы, сопровождающиеся обширными зонами вкрапленников, залегают непосредственно на контакте норитов и подстилающих их пород серии уайтуотер. Размеры их различны, некоторые из них достигают по простиранию 1500 м при мощности от 12 до 50 м.

Сульфидные массивные и вкрапленные руды состоят из пентландита, пирротина, халькопирита, кубанита с небольшой примесью герсдорфита, маухерита, никелина, магнетита. Почти всегда присутствуют теллуриды

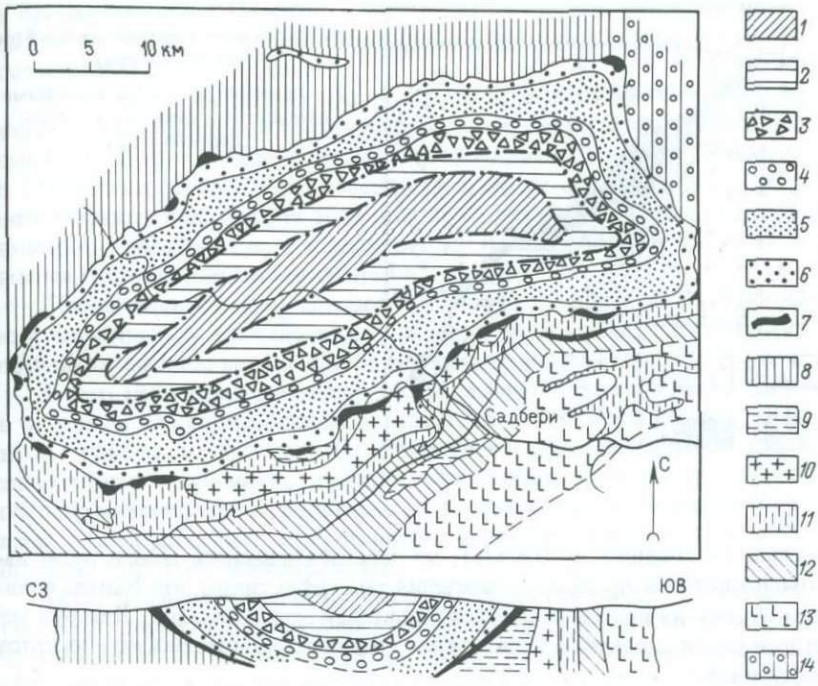


Рис. 20. Геологическая карта и разрез месторождения Садбери:

1 – хельмсфордский песчаник; *2* – сланец онветин; *3* – туфы; *4* – конгломераты; *5* – оливиновые нориты; *6* – нориты, вверху микропегматиты; *7* – рудные залежи; *8* – лаврентьевская свита; *9* – граниты; *10* – древние нориты; *11* – амфиболиты; *12* – граувакки; *13* – кварциты; *14* – лаврентьевские и зеленокаменные породы

золота и серебра, иногда пирит, очень редко – сфалерит и галенит. Местами отмеченные сульфиды образуют цемент брекчии норита и вмещающих пород. Из нерудных минералов обычно встречаются андезит, роговая обманка, биотит, хлорит, кварц и карбонаты.

Средние содержания никеля в рудах изменяются от 0,7 до 1,46% , меди – от 0,8 до 1,9%. По отдельным месторождениям соотношения меди и никеля в рудах колеблются от 1 : 2 до 5 : 1 и составляют в среднем 1 : 1. Среднее содержание никеля в добываемой руде от 1,2 до 1,7%. Содержание кобальта в рудах варьирует в широких пределах, по отдельным залежам – от 0,06 до 1%, в среднем составляет 0,12%.

Кроме никеля, меди и кобальта руды месторождения Садбери содержат золото, серебро, платиноиды, селен и теллур, которые извлекаются попутно. Металлы платиновой группы присутствуют в очень малых коли-

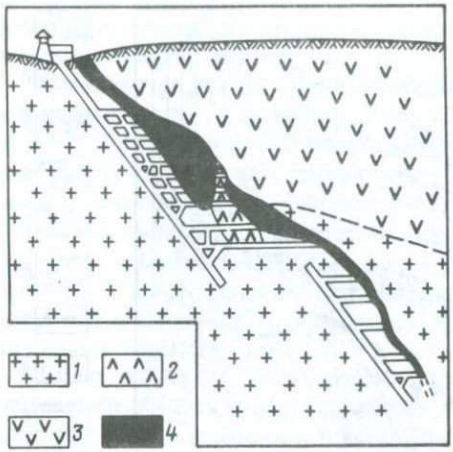


Рис. 21. **Поперечный разрез никелевого месторождения Крейтон (район Садбери):**

1 – граниты; *2* – зеленокаменные породы; *3* – нориты; *4* – сульфидные руды

чествах (в среднем до 0,8 г/т), но перерабатываемый объем руды настолько велик и процессы извлечения так эффективны, что Канада является одним из крупнейших производителей этих металлов. Для руд месторождения характерно повышение содержания полезных компонентов с глубиной.

По характеру проявленного оруденения выделяется месторождение *Фруд-Стоби*, приуроченное к дайке кварцевого диорита, расположенной в южной части интрузивного массива Садбери. Она прослеживается вдоль мощной брекчиевой зоны на протяжении 3 км и целиком пропитана сульфидной минерализацией, менее широко проявленной в брекчиевых образованиях. Преобладают вкрапленные руды, содержащие в среднем 0,6–0,9% никеля; примерно в таких же пределах находится содержание меди. Более высоким содержанием никеля характеризуются брекчиевые руды (1,5–2,5%), сплошные (1,6–5,7%) и кремнистые (0,7–2,0%). Первоначальные общие запасы никеля составили 1,5 млн. т при среднем содержании его в руде 1,45%. Руды характеризуются повышенным содержанием платиноидов и золота по сравнению с рудами других месторождений района. Главная рудная залежь пластообразной формы прослежена на глубину до 1200 м при мощности от 74 до 120 м до глубины 850–900 м и 45 м на более глубоких горизонтах.

Известные в других районах Канады, в частности в провинциях *Манитоба* и *Квебек*, месторождения сульфидных руд характеризуются сравнительно небольшими разведанными запасами никеля и меди, которые обычно колеблются от нескольких десятков до нескольких сотен тысяч тонн. По масштабу и характеру оруденения выделяется выявленный в послевоенные годы в провинции Манитоба новый рудный район,

в пределах которого наряду с месторождениями вкрапленных никелевых руд в нацело серпентинизированных перидотитах обнаружены богатые массивные руды в гнейсах.

Месторождения района приурочены к отчетливо выраженной протяженной докембрийской тектонической зоне, которая прослеживается в центральной части провинции Манитоба на несколько сотен километров и уходит под палеозойские известняки в северо-восточном и юго-западном направлениях. Вся эта зона отчетливо фиксируется по полосе гравитационных минимумов, а к юго-востоку от нее проходит параллельная полоса гравитационных максимумов.

Тектоническую зону слагают метаморфизованные и рассланцованные осадочные и вулканогенные породы, парагнейсы, гранито-гнейсы, обычно интенсивно нарушенные и местами раздробленные.

Парагнейсы отличаются хорошо выраженной слоистостью и состоят в основном из кварца и полевого шпата при переменном количестве биотита, амфибола и пироксена. Отдельные разновидности гнейсов содержат значительное количество граната, кордиерита и магнетита. Гнейсы обильно инъецированы гранитным и пегматитовым материалом и прорваны серией интрузий серпентинитов, которые также располагаются в пределах этой тектонической зоны.

Среди гнейсов и гранито-гнейсов встречаются массивы измененных габбро и диоритов, прорванных интрузиями гранодиоритов, которые прорывают также массивы серпентинитов. Более поздними по времени образованиями являются интрузии гранитов и секущие их дайки габбро. К зоне разломов в гиперстеновых гранитах приурочена серия перидотитовых даек, которые в отличие от других пород района почти не затронуты процессами метаморфизма. Возраст пород, слагающих тектоническую зону, определяется в 1750 млн. лет по образцам, взятым в северо-западной части зоны, и 2200 млн. лет – в юго-восточной.

Разведаны три месторождения: *Мистери Лейк, Моак Лейк* и *Томпсон*. В первых двух месторождениях оруденение приурочено к серпентинитам, в которых сульфиды никеля образуют вкрапленность. Судя по взаимоотношению с силикатами, сульфиды кристаллизовались непосредственно вслед за ними. Разведанные запасы вкрапленных руд месторождения Мистери Лейк составляют 500 млн. т при среднем содержании в них никеля 0,5% и месторождения Моак Лейк – 50 млн. т при содержании никеля 0,7%. В небольшом количестве руды содержат также медь, кобальт, золото, серебро и металлы платиновой группы.

Наибольший интерес представляет месторождение Томпсон (рис. 22), расположенное в северной части провинции, вблизи оз. Виннипег. Рудные залежи месторождения приурочены к зоне тектонических нарушений в докембрийских гнейсах и прослеживаются на протяжении 5600 м. Широко развиты здесь также приуроченные к зонам разломов мелкие интрузии основных и ультраосновных пород, нацело превращенных в серпентиниты. От ближайшего выхода ультраосновных пород месторождение находится на расстоянии свыше 1,5 км. Преобладают массивные сульфидные руды,

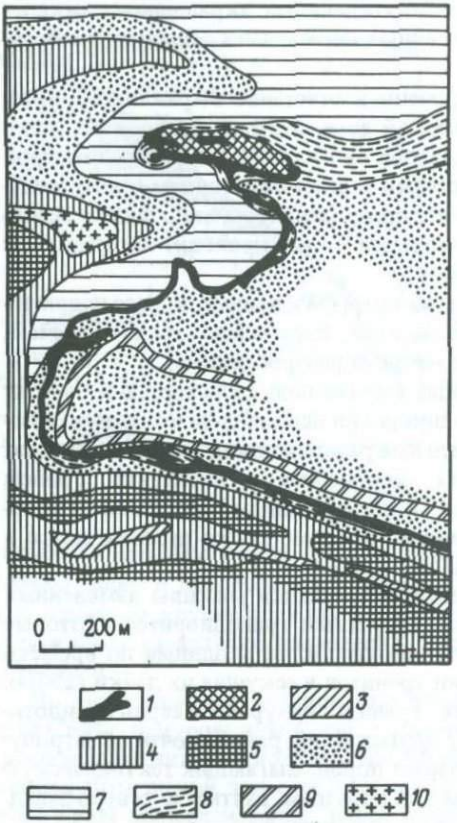


Рис. 22. Месторождение Томпсон (геологический план горизонта 328 м):

1 – рудная зона; *2* – перидотиты; *3* – метаперидотиты; *4* – биотитовые гнейсы; *5* – гранито-гнейсы; *6* – кварциты; *7* – скарны; *8* – биотитовые сланцы; *9* – железорудная формация; *10* – рогово-обманковые гнейсы

залегающие в биотито-силлиманито-гранатовых сланцах; основными рудными минералами являются пирротин и пентландит. Среднее содержание никеля в рудах составляет примерно 2,8% при их средней мощности 6 м. В отличие от Садбери руды содержат только 0,2% меди и в незначительном количестве золото, серебро и платиноиды (0,4 г/т). Достоверные и вероятные запасы руд оценивались в 25 млн. т.

В 1961 г. на месторождении Томпсон вступил в строй комбинат производительностью 5 тыс. т руды в сутки и 33,7 тыс. т катодного никеля в год. Капитальные затраты на строительство комбината составили 250 млн. долларов.

К юго-востоку от месторождения Томпсон открыто еще одно месторождение *Хембон Лейк*, сульфидное оруденение которого проявлено главным образом в гнейсах; оно отмечено также в прорывающих их серпентинитах.

В Онтарио близ Пиклби Лейк введен в строй новый медно-никелевый рудник на месторождении Тьерри. Оруденение приурочено к киватинским порфиритам и представлено сланцеватыми и брекчированными амфиболитами, содержащими пирротин, халькопирит, пирит, пентландит, магнетит и в меньшем количестве ильменит. Месторождение разрабатывается двумя карьерами до глубины 45 м, а более глубокие горизонты – подземными выработками. Суточная добыча составляет 5 тыс. т руды, содержащей 1,6% меди и 0,2% никеля. Из реды извлекается 90% всех полезных компонентов. Концентрат содержит 26% меди и 1% никеля. Примерно 8% стоимости концентрата приходится на серебро. Доказанные запасы месторождения составляют 15 млн. т руды, содержащей 1,63% меди и 0,2% никеля.

Доказанные запасы никеля Канады оцениваются в 8,3 млн. т при содержании в рудах никеля 1,5–3,0%. Производство никеля достигло в 1970 г. максимума – 294 тыс. т, к 1979 г. оно снизилось до 126,5 тыс. т, а в 1980 г. составило 195 тыс. т.

Промышленные месторождения сульфидных медно-никелевых руд издавна известны в ЮАР и выявлены в последнее время в Австралии. В Ю А Р по времени образования выделяются две группы месторождений. Одна из них генетически связана с докембрийскими интрузиями Бушвелдского комплекса, другая – с интрузиями, залегающими среди свит системы карру. К первой относится месторождение *Фланкфонштейн*, занимающее площадь около 3 км^2, в пределах которой выявлено более 70 крутопадающих (до вертикальных) трубчатых тел, диаметром 1–17 м. Они сложены норит-пегматитом, включающим гнезда хромита и неправильной формы скопления сложной сульфидной минерализации (пентландит, халькопирит, пирротин), постепенно сменяющейся вкрапленной. Возраст оруденения определен в 1420–1125 млн. лет.

Наиболее богатые трубки содержат в среднем 3% никеля (от 1 до 7%), 1% меди (от 0,3 до 3%), 0,1% кобальта и несколько граммов на тонну благородных металлов. К бедным относятся руды, содержащие в среднем до 1% никеля и до 0,7% меди. Общие запасы месторождения оцениваются в 50 тыс. т никеля. Годовая добыча его превышает 4 тыс. т.

Более крупными масштабами оруденения характеризуются месторождения А в с т р а л и и, пространственно и генетически связанные с основным и ультраосновным докембрийским магматизмом. Они сосредоточены в штате Западная Австралия, где с конца 60-х годов выявлено более 30 месторождений сульфидных и силикатных руд, приуроченных к докембрийским массивам ультрабазитов зеленокаменных поясов блока Йилгарн. По масштабу оруденения и добычи никеля выделяется месторождение *Камбалда*, линзообразные рудные залежи которого, преимущественно ультрамафитового состава, прослеживаются на протяжении более 3 км вдоль контакта базальтов с серпентинитами. Преобладают сплошные руды, содержащие 30–40% пирротина, 15–24% пентландита, 2–3% халькопирита и в небольшом количестве пирит. Доказанные запасы никеля составляют 1100 тыс. т при содержании его в руде 1,5–2,0%. Руды содержат медь (около 0,3%), кобальт (0,04%), платиноиды, золото и другие полезные компоненты. Годовое производство никеля достигло 29 тыс. т.

Менее крупный источник добычи никеля – месторождение *Агнью*, доказанные запасы руд которого подсчитаны в объеме 40 млн. т при содержании 2,2% никеля; из них в зоне с минимальной вскрышей содержится около 2 млн. т руды, содержащей 3–5% никеля. На базе месторождения построен горно-металлургический комбинат, производительность которого к 1980 г. достигла 12 тыс. т никеля в файнштейне в год. Для разведки более глубоких и менее богатых рудных тел на месторождении Агнью предусматривалась проходка шахты до глубины 910 м.

На небольшом, но богатом никелевом месторождении *Спарговиль* в 1978 г. добыто и обогащено 150 тыс. т руды, содержащей 2,48% металла.

Количество никеля в концентратах доводилось до 16,9% в 1978 г. и 17,4% в 1977 г. На конец 1978 г. запасы месторождения Спарговиль составляли 191,2 тыс. т руды с 2,66% никеля. С учетом кайнозойских силикатных руд доказанные запасы никеля страны на начало 1981 г. составили 1720 тыс. т, а производство его в 1980 г. – 69,8 тыс. т.

Сравнительно небольшие докембрийские месторождения сульфидных медно-никелевых руд известны в Зимбабве, Ботсване, на Мадагаскаре, в КНР, КНДР, Индии, Финляндии, США. Среди них по масштабу оруденения и достигнутым уровням добычи выделяются месторождения Зимбабве и Ботсваны, доказанные запасы никеля которых соответственно составляют 300 тыс. и 390 тыс. т, а производство его примерно 14–15 тыс. т. В Зимбабве наибольший интерес представляет месторождение *Троян*, разрабатываемое с 1962 г. Рудная его минерализация приурочена к норитовому интрузиву и прослежена на участке примерно 15 км в длину и от 45 до 200 м в ширину. Основными рудными минералами являются пентландит, магнетит и халькопирит. Общие запасы никеля оцениваются в 300 тыс. т при среднем содержании в руде 1,5%. Менее крупными запасами никеля характеризуется месторождения *Мадзива*, разрабатываемое с 1970 г. Они оцениваются в 170 тыс. т при содержании его в руде 0,85%.

В Ботсване с конца 1973 г. разрабатывается месторождение, состоящее из двух участков – *Пикве* и *Селайб*. Оруденение их приурочено к интрузии амфиболитов и прослежено на участках по простиранию соответственно на 1350 и 2400 м, а на глубину – свыше 340 и 540 м. Общие запасы Пикве оценены в 420 тыс. т никеля при содержании его в руде 1,45% и меди 1,1% и Селайба – 93 тыс. т при содержании никеля 0,74% и меди 1,56%.

Ряд преимущественно небольших месторождений никеля разведан и разрабатывается в Финляндии, где по абсолютному возрасту они распределяются на четыре группы: швекокарельские (1,9–1,85 млрд. лет), карельские (2,2 млрд. лет), докарельские (2,4 млрд. лет) и архейские (более 2,8 млрд. лет). Наиболее интересными в практическом отношении представляются месторождения первой группы, образующие кольцевую структуру вокруг гранитоидного района *Центральной Финляндии*. Все ныне действующие рудники расположены внутри этой структуры, где оруденение в основном ассоциирует с ультрамафическими образованиями. В добываемых рудах содержание никеля не превышает 0,7%. Подготавливается к эксплуатации месторождение *Хитура*, потенциальные запасы никеля которого оцениваются до 200 тыс. т при содержании его в руде около 0,5% и меди 0,2%. Общие запасы никеля в стране составляют 130 тыс. т при его содержании в рудах 0,2–1%, в том числе 15 тыс. т в медноколчеданном месторождении *Оутокумпу*. Годовое производство никеля составляет около 6 тыс. т.

В СССР провинцией широкого развития сульфидных медно-никелевых руд является Кольский полуостров, где они приурочены к основным и ультраосновным интрузиям, формирование которых происходило в условиях, переходных к платформенным, на границе среднего и верхнего протерозоя (1600 млн. лет).

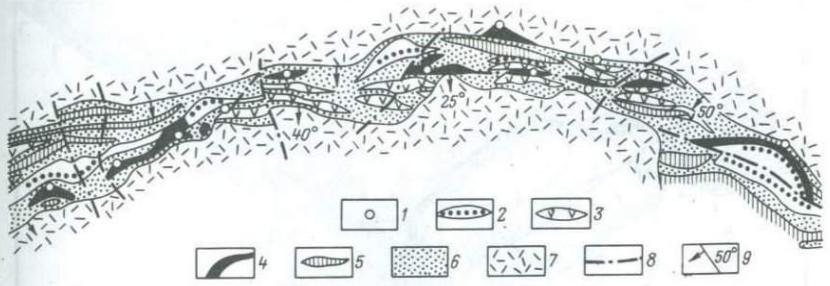


Рис. 23. Геологическая схема Печенгского рудного поля:

1 – эпигенетическое оруденение; *2* – сингенетическое оруденение; *3* – серпентинизированный перидотит и другие слабо измененные породы никеленосных интрузий ультраосновных-основных пород; *4* – оталькованный серпентинит; *5* – интрузивные габбро-диабазы; *6* – туфогенно-осадочные породы; *7* – эффузивные диабазы; *8* – дизъюнктивные тектонические нарушения (зоны смятия и рассланцевания, сбросы и др.); *9* – углы падения контактов пород

Основные ресурсы никеля сосредоточены в месторождениях трех рудных полей – Печенгского (Ждановское, Кириеджипори, Каула и др.), Аллареченского (Аллареченское и Восток) и Мончегорского (Ниттис – Кумужья – Травяная). Менее интересными в практическом отношении представляются месторождения Имандра-Варзугского и Ловнозерского районов.

Месторождения *Печенгского рудного поля* генетически связаны с пластовыми интрузиями основных и ультраосновных пород, прорывающих комплекс зеленокаменных эффузивных и осадочных образований печенгской формации. Интрузивные тела отличаются удлиненно-линзовидной формой и отчетливой дифференцированностью от перидотитов и пироксенитов (в лежачем боку интрузива) до габбро (в висячем боку). Обычно к лежачему боку интрузивных тел приурочены тектонические зоны дробления. В районе месторождений печенгская формация интенсивно дислоцирована и представлена филлитами, туффитами и полимиктовыми песчаниками, залегающими между покровами диабазов (рис. 23, 24, 25).

Сульфидное медно-никелевое оруденение связано с серпентинизированными перидотитами, реже с амфиболитизированными пироксенитами, и представлено преимущественно сингенетическими вкрапленными рудами в форме пластообразных залежей в нижней части интрузива. В них заключена подавляющая часть разведанных запасов никеля и меди. Мощность их колеблется от 1 до 60 м. Богатые разности вкрапленных руд поступают непосредственно на металлургический передел, а бедные подвергаются обогащению. Менее широко проявлена эпигенетическая минерализация, представленная брекчиевыми, сплошными и прожилково-вкрапленными рудами, приуроченными к тектоническим контактам рудоносных массивов с вмещающими породами.

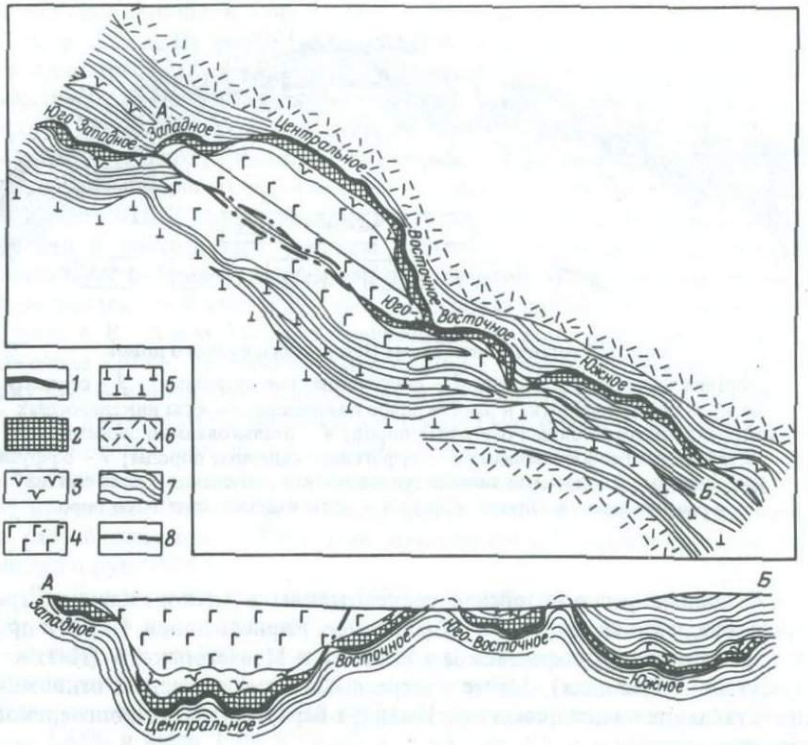


Рис. 24. Схема геологического строения Ждановского месторождения *(по А. А. Глазковскому, Г. И. Иванову, Ф. А. Сысоеву)*:

1 – оруденелая тектоническая зона; *2* – вкрапленные медно-никелевые руды в измененных перидотитах; *3* – серпентиниты и перидотиты; *4* – габбро; *5* – габбро-диабазы; *6* – эффузивные диабазы; *7* – филлиты и песчаники; *8* – тектонические нарушения

Основные рудные минералы – пирротин, пентландит, халькопирит и магнетит. Силикаты представлены главным образом серпентином, пироксеном, оливином, хлоритом и амфиболом. К переходной зоне от перидотитов к габбро, а иногда непосредственно к габбро приурочено титаномагнетитовое оруденение, которое проявляется здесь в виде вкрапленности титаномагнетита и ильменита.

В пределах *Аллареченского* рудного поля продуктивны межпластовые, интенсивно серпентинизированные перидотиты (гарцбургиты), залегающие среди гнейсов и амфиболитов (рис. 26). Промышленное оруденение представлено пластообразными залежами вкрапленных руд и сплошными богатыми рудами, выполняющими крутопадающие трещины в интрузиве. Мощность залежи вкрапленных руд Аллареченского место-

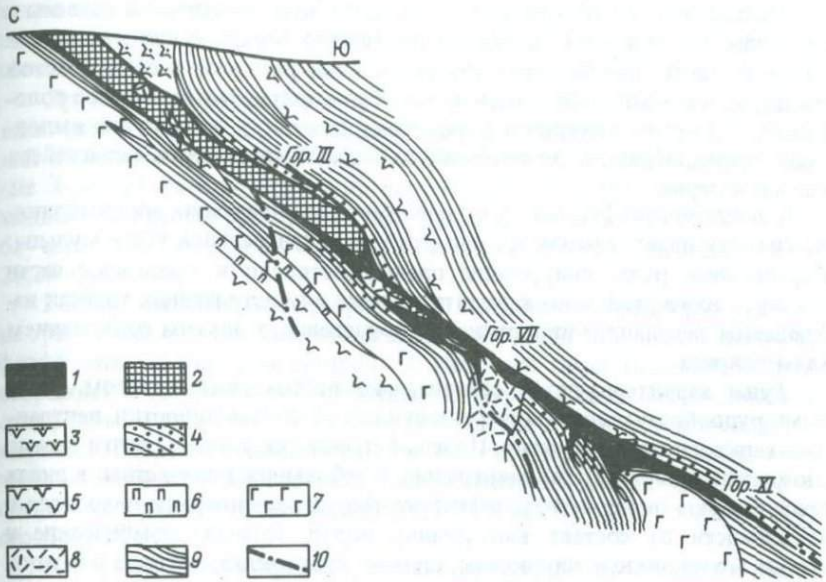


Рис. 25. Разрез месторождения Каула:

1 – сплошные и брекчиевые сульфидные руды; *2* – богатые вкрапленные руды в серпентинитах; *3* – рядовые вкрапленные руды в серпентинитах; *4* – оруденелые филлиты; *5* – серпентиниты; *6* – пироксены; *7* – габбро; *8* – диабазы; *9* – филлиты; *10* – тектонические нарушения

Рис. 26. Разрез Аллареченского месторождения:

А – предполагаемый по данным разведки; *Б* – установленный по данным эксплуатационных работ и документации стенок карьера. *1* – сульфидные руды; *2* – измененные ультраосновные породы; *3* – гнейсы и амфиболиты; *4* – разведочные скважины

рождения корытообразной формы составляет от 3 до 15–20 м. Эпигенетическое оруденение локализуется в полости крутопадающего сброса и оперяющих его трещинах. Оно представлено жилами сплошных руд в интрузиве и вмещающих его гнейсах.

Месторождения *Мончегорского* рудного поля генетически связаны с плутоном (хонолитом) дифференцированных пород, среди которых в западной части преобладают ультраосновные разности псевдослоистой текстуры, а в восточной – нориты и габбро-нориты, также нередко полосчатые. Интрузив приурочен к пологому разлому; породы его выполняют мульдообразное углубление в мигматизированных парагнейсах кольской серии.

Сплошные сульфидные руды в форме крутопадающих жил выполняют систему параллельных трещин разрыва в центральной части мульды. Вкрапленные руды приурочены преимущественно к придонной части массива; ниже этой зоны в норитах и реже в подстилающих гнейсах наблюдается пентландит-пирротиновое оруденение с низким содержанием халькопирита.

Руды характеризуются сравнительно постоянным составом. Главными рудообразующими минералами в них являются пирротин, пентландит, халькопирит и магнетит. Иногда встречаются участки, почти нацело сложенные одним из этих минералов. В небольших количествах в рудах присутствуют пирит и титаномагнетит. Нерудные минералы находятся в зависимости от состава вмещающих пород. Обычны ромбические и частью моноклинные пироксены, оливин, плагиоклаз, роговая обманка, хлорит, уралит, тальк, актинолит.

Считают, что медно-никелевое оруденение генетически связано не с ультраосновными породами, а с подстилающими их норитами. Этим, возможно, объясняется приуроченность главной массы богатого оруденения к центральной части массива, где развиты дайки габбро-норитов.

Проявления сульфидной медно-никелевой минерализации установлены в ряде других районов страны – в *Воронежском кристаллическом массиве, Северном Прибайкалье, Карелии* и др.

Широко распространены докембрийские месторождения меди колчеданного типа. Однако не всегда удается достоверно установить возраст этих месторождений, приуроченных к докембрийским образованиям. Многие исследователи считают, что основные из них сингенетичны с заключающими их вулканогенными толщами.

В К а н а д е группа таких месторождений (*Норанда, Квемонт* и др.) расположена в провинции Квебек, где она представлена метасоматическими залежами массивных и вкрапленных руд в докембрийских вулканогенных породах (андезитах и риолитах), интрудированных дайками кварцевых диоритов, сиенит-порфиров и габбро. Руды характеризуются комплексным составом и обычно содержат халькопирит, пирротин, пирит, галенит, арсенопирит, сфалерит и магнетит.

В рудах месторождения Норанда среднее содержание меди составляет 2.13%. Руды богаты самородным золотом и его теллуридами, а также серебром. Здесь было известно 25 золотосодержащих залежей, в которых среднее содержание золота составляет 4,5–5,5 г/т. В отдельных наиболее богатых участках содержание золота достигало 100 г/т. Руды содержат

также селен, по производству которого предприятие Норанда до последнего времени занимало первое место в капиталистических и развивающихся странах.

Другие месторождения этого района отличаются высоким содержанием цинка и серебра. Достоверные запасы меди отдельных месторождений обычно не превышают 100–300 тыс. т. Разрабатывается месторождение *Холланд,* расположенное на полуострове Гаспе. Разведанные запасы медноколчеданных руд со средним содержанием меди 1,29% составляют 65 млнт. т. После обогащения получается концентрат, содержащий 28,2% меди.

Ряд промышленных месторождений медноколчеданных руд известен на границе провинций Саскачеван и Манитоба, где они приурочены к туфоэффузивным породам протерозоя. Наиболее значительное из них месторождение *Флин-Флон.* Массивные и вкрапленные медно-цинковые сульфидные руды месторождения, залегающие в форме различного размера линз, содержат халькопирит, пирит и сфалерит с небольшим количеством магнетита. Достоверные запасы меди оценивались в 507 тыс. т; среднее содержание меди составляет 2,72%, цинка 4,24%, золота 2 г/т и серебра 35 г/т.

В окрестностях открыто и освоено промышленностью более десяти других менее крупных месторождений медноколчеданных руд, в которых среднее содержание меди составляет от 1,47 до 3,5%, цинка от 0,7 до 3,6%, золота 1,1 г/т и менее и серебра 31 г/т и менее.

В 1973 г. вступил в строй медно-цинковый рудник *Раттен-Лейк* проектной мощностью 9 тыс. т руды в сутки. Руда добывается открытым способом, но одновременно ведется проходка двух параллельных наклонных шахтных стволов для подземных работ, которые предполагалось начать в 1977 г. Ежегодно будут получать около 43 тыс. т меди и 45 тыс. т цинка в концентратах при извлечении меди 92%, а цинка 80%. На начало 1974 г. достоверные и вероятные запасы рудника до глубины 600 м составляли 44,5 млн. т руды.

Наиболее крупным медноколчеданным месторождением представляется *Кидд-Крик,* открытое в 1963 г. в Онтарио в пределах западной части зеленокаменного пояса Абитиби Канадского щита. Оруденение проявлено в виде стратиформных массивных тел, согласно приуроченных к фельзитовым вулканогенным образованиям. Доказанные запасы месторождения до глубины 840 м на начало 1979 г. составляли 101 млн. т руды, содержащей 2,8% меди, 5,13% цинка, 0,18% свинца и 66,2 г/т серебра. Месторождение считается одним из крупнейших в мире по добыче цинка, кадмия и серебра.

Сравнительно небольшие месторождения медноколчеданных руд докембрийского возраста известны и в других районах страны.

Многочисленные месторождения медноколчеданных руд докембрийского возраста известны в ряде районов США. Среди них наиболее интересно издавна разрабатываемое месторождение *Юнайтед Верде* (рис. 27), расположенное в округе Джером штата Аризона. Район место-

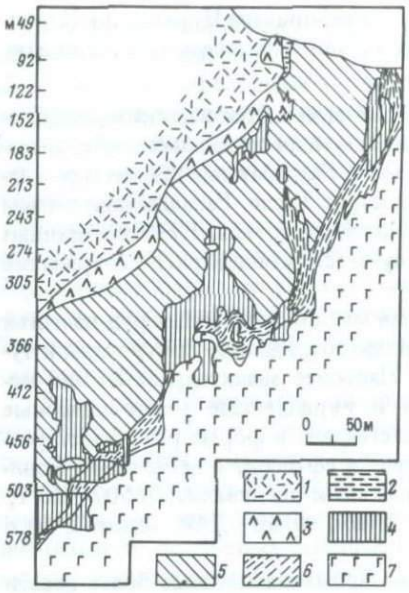


Рис. 27. Геологический разрез рудника Юнайтед-Верде:

1 – диориты; *2* – зеленокаменные породы; *3* – кварц; *4* – выработанная площадь; *5* – массивные сульфиды; *6* – кристаллические сланцы; *7* – кварцевые порфиры

рождения сложен докембрийскими кристаллическими сланцами и зеленокаменными породами, прорванными диоритами, гранитами и кварцевыми порфирами также докембрийского возраста. Рудная залежь трубчатой (эллиптической) формы залегает между диоритом в висячем боку и кварцевыми порфирами в лежачем. Она представлена массивными рудами, сложенными пиритом с подчиненным количеством арсенопирита и халькопирита. Обычно присутствуют также сфалерит, тетраэдрит, магнетит и гематит, а в зоне вторичного обгащения – халькозин, ковеллин и борнит. Из нерудных минералов встречаются кварц, серицит, хлорит, флюорит, эпидот, доломит, кальцит, сидерит и серпентин. Содержание меди в рудах невысокое и в среднем составляет 1%. Внутри рудного тела, преимущественно в его периферических частях, имеются крупные обогащенные халькопиритом и другими медными минералами участки, в которых содержание меди составляет 5–6%. Кроме меди, руды содержат цинка 2–4%, серы 21–33%, золота 0,1–0,6 г/т и серебра 44–53 г/т.

Длина рудной залежи около 600 м, ширина до 150 м, на глубину она прослежена до 1800 м. Заметного изменения качества руд с глубиной не отмечается. Это одна из крупнейших в мире залежей массивных сульфидных медных руд, общие запасы меди в которой оценивались в 1600 тыс. т, из них более 75% добыто.

В 2,3 км к востоку от нее расположена залежь *Юнайтед Верде Экстеншен*, которая считается верхней частью залежи Юнайтед Верде, срезанной и смещенной сбросом еще в докембрийское время. Из этой рудной залежи, полностью выработанной за время эксплуатации (с 1915 по 1939 г.), было добыто несколько сотен тысяч тонн металла при среднем содержании в рудах меди 6,65%, золота 12 г/т и серебра 39,4 г/т. В наиболее богатых участках содержание меди достигло 10–24%. Главным рудообразующим минералом наряду с пиритом являлся халькозин.

В Бразилии к докембрийскому возрасту, вероятно, относится недавно разведанное месторождение *Караиба*, расположенное в 360 км

от побережья Атлантического океана. Рудные тела его приурочены к контакту основных интрузивных пород с архейским гранито-гнейсовым батолитом. Запасы составляют 90 млн. т руды, содержащей в среднем 1,4–1,5% меди и в сравнительно небольшом количестве другие цветные и благородные металлы. Горный комплекс включает карьер и подземный рудник суммарной мощностью 5,5 млн. т руды или 60 тыс. т меди в концентратах в год.

В Австралии наиболее крупным источником добычи меди (примерно 70% суммарной добычи ее в стране) является месторождение *Маунт-Айза*, известное с 1923 г. как крупный источник добычи свинца и цинка. Значительные линзообразные тела медноколчеданных руд в пределах его поля выявлены и введены в разработку в 50-х годах. Среднее содержание меди в них составляет 3,1%, а доказанные ее запасы – 4,3 млн. т. Получаемые медные концентраты содержат 28–30% металла при извлечении 90%.

Ряд менее крупных медноколчеданных месторождений докембрийского возраста разрабатывается в районе Маунт-Айза (*Маунт-Морган*) и на других территориях страны.

Сравнительно небольшое месторождение медноколчеданных руд *Тьютоник Бор* подготавливалось к эксплуатации в Западной Австралии в 60 км северо-западнее никелевого месторождения Леонора и в 85 км к юго-западу от никелевого рудника Агнью.

Оруденение приурочено к тонкозернистым вулканогенным отложениям верхнеархейской вулканической серии, содержащей риолитовые туфы и полевошпатовые порфиры. Рудное тело прослеживается по простиранию на 260 м, а в ширину на 25 м, однако на глубину зона сужается и приобретает крутое падение, поэтому разработка месторождения будет вестись как открытым, так и подземным способом. Запасы составляют 2,5 млн. т руды, содержащей 3,5% меди, 3,5% цинка и 150 г/т серебра.

В ЮАР введено в эксплуатацию медноколчеданное месторождение *Прииска*, расположенное в Капской провинции. Бурением до глубины 500 м выявлено массивное сульфидное рудное тело длиной 1650 м при средней мощности 9 м. К началу 1970 г. запасы здесь подсчитаны в количестве 47 млн. т руды, содержащей 1,7% меди и 3,9% цинка. Закончено строительство шахты диаметром 5,4 м и глубиной 210 м. Предполагают, что из руды месторождения Прииска ежегодно будет извлекаться около 35 тыс. т меди.

Основной источник производства меди в стране – карбонатитовое месторождение *Палабора* (Лулекоп), доказанные запасы которого составляют 2,1 млн. т меди при ее содержании в руде от 0,5 до 4,8%, в среднем 0,7%. Годовая добыча превышает 100 тыс. т меди или 50% общего производства в стране меди в концентрате.

Рудное тело представлено эллипсообразной вертикальной трубкой, прослеживающейся на глубину более 1350 м, при площади поперечного сечения 1800 га. Она сложена в центральной части карбонатитами, затем фоскоритами (магнетит-оливин-апатитовые породы), шонкинитами и во

внешней зоне – щелочными спилитами, пироксенитами и долеритами.

Месторождение разрабатывается с 1966 г. Проектная глубина карьера определена в 595 м, а в настоящее время достигла 250 м; размеры в плане – 1655 х 1458 м. Производительность его по горной массе 1,8 млн. т в неделю.

Сравнительно крупные запасы медных руд установлены на докембрийском месторождении карбонатитов *Глеб Ногрин в* Мавритании. Медное оруденение проявлено в гематитовых пластообразных залежах, содержащих халькопирит, кубанит и кобальтоносный пирротин. В зоне окисления, развитой до глубины 21 м, присутствуют атакамит, хризоколла, малахит и азурит. Запасы руд, доступные для открытой разработки, составляют 18 млн. т при среднем содержании меди 1,5–1,8% и золота 1 г/т.

В Намибии к докембрию относится медноколчеданное месторождение *Оджихейс*, общие запасы меди которого составляют 550 тыс. т при среднем ее содержании в руде 2,4%.

Многочисленные месторождения медноколчеданных руд приурочены к докембрийским образованиям в различных районах Балтийского щита. Наиболее крупное из них месторождение *Оутокумпу* расположено в юго-восточной части Финляндии. Рудная залежь месторождения приурочена к брекчированной зоне докембрийских кварцитов, отличается линзообразной формой и прослеживается в длину на 3500 м при ширине 400 м и мощности от 1 до 15–17 м. Руды характеризуются комплексным составом. Среднее содержание меди в них составляет 3,7%, железа 27%, цинка 0,8%, никеля 0,1%, кобальта 0,2%, мышьяка 0,01%, серы 27%, золота 0,8 г/т, серебра 9–12 г/т. Общие запасы руды оцениваются в 25 млн. т, а запасы меди – в 860 тыс. т, что составляет около 85% общих запасов меди в стране. Примерно такой же удельный вес месторождение занимает в добыче меди. Из руд месторождений Оутокумпу, помимо черновой меди, получается серная кислота, жидкий сернистый газ и элементарная сера. Попутно извлекаются кобальт, никель, золото, серебро, платина, селен. Пиритные огарки используются в металлургической промышленности.

Разведано и введено в эксплуатацию месторождение медноколчеданных руд *Луйконлахти*, расположенное в 45 км от г. Куопио. Разведанные его запасы составляют 7 млн. т руды, содержащей 1,5% меди и 1% цинка; мощность обогатительного предприятия – 500 тыс. т руды. В 1980 г. производство меди в концентрате составило 41,1 тыс. т.

В Швеции наиболее крупным медноколчеданным месторождением является *Болиден*. Здесь оруденение приурочено к толще эффузивных пород, местами, особенно вблизи рудных тел, превращенных в серицитовые и андалузитовые сланцы и прорванных дайками лампрофиров. Разведано до 30 залежей массивных руд преимущественно линзовидной или жильной формы, из которых наиболее крупные достигают в длину 357–365 м при средней мощности 18–20 м и максимальной 37 м. Преобладает арсенопиритовая руда, в которой содержание меди составляет 2,2%, золота 15,1 г/т, серебра 58,6 г/т, серы 30,8% и мышьяка 9,4%. Кроме того, она содержит висмут, кобальт, селен и платину.

В районе Норботтен с сентября 1968 г. разрабатывается месторождение низкосортных медных руд *Айтик*. Площадь оруденения 220 тыс. м^2. Руды, содержащие халькопирит, магнетит и пирит, прослежены по простиранию на 2,5 км. Мощность рудной зоны колеблется от 50 до 200 м. Запасы месторождения до глубины 50 м составляют 30 млн. т сульфидных руд, содержащих 0,5% (150 тыс. т) меди. Ниже, до глубины 300 м, выявлено еще 150 млн. т руды примерно с таким же содержанием металла. На месторождении ежегодно добывается около 2 млн. т руды, из которой извлекается около 10 тыс. т меди. В Швеции в 1980 г. произведено меди в концентрате 42,8 тыс. т. Общие ее запасы оцениваются в 1,5 млн. тонн.

Ряд сравнительно мелких месторождений медноколчеданных руд известен на территории Норвегии. Возраст их достоверно не определен; некоторые исследователи считают их нижнепалеозойскими и связывают их образование с каледонской фазой складчатости.

В Норвегии в августе 1968 г. вступило в строй новое горно-обогатительное предприятие на базе месторождения *Тверфьюллет* с запасами 8 млн. т руды, содержащей в среднем 2,5% меди и 1,2% цинка. Оборудование и персонал на это предприятие переведены с рудника Фоллдаль, запасы которого истощены. Месторождение Тверрфьюллет разрабатывается подземным способом. Производительность предприятия – 400 тыс. т руды в год. Возможный выпуск медного концентрата – свыше 14 тыс. т, цинкового – 5,7 тыс. т, пиритов – 220 тыс. т в год. Всего в стране в 1980 г. выпуск меди в концентрате составил 28,9 тыс. т, а общие ее запасы – 900 тыс. т.

К докембрийскому возрасту относится ряд промышленных месторождений собственно кобальтовых и серебро-кобальтовых руд. В Канаде к ним относятся месторождения комплексных серебро-кобальтовых руд района Темискаминг-Кобальт. В прошлом, до открытия кобальта в рудах африканских месторождений, эти месторождения имели большое экономическое значение.

Богатые кобальтом и серебром жилы этого района располагаются в непосредственной близости от диабазовых силлов мощностью в несколько сотен метров, рассекающих киватинские вулканогенные породы и серию кобальт. Здесь известно более сотни тонких (0,1–0,15 м) хорошо выдержанных жил, в большинстве случаев заключенных в образованиях серии кобальт. Размеры их по простиранию составляют 100–150 м, по падению 30–60 м. Сложены они в основном кальцитом, смальтином, кобальтином, саффлоритом, никелином и самородным серебром. Встречаются также хлоантит, лёллингит и другие минералы никеля и кобальта. В зоне окисления образуются эритрин, аннабергит и скородит. Руды отличаются исключительно высоким содержанием металлов. Во многих случаях они содержали свыше 3% серебра и от 2 до 5% кобальта.

Известные в ряде других стран собственно кобальтовые месторождения докембрийского возраста обычно характеризуются мелкими масштабами и промышленностью не осваиваются. Исключение составляют месторождения *Бу-Аззер* и *Эль-Граара* в Марокко. Рудные жилы этих месторождений, приуроченные к контакту докембрийских серпе-

нтинитов и диоритов, отличаются весьма сложным минеральным составом. Наряду с кобальтовыми минералами, представленными кобальтином, скуттерудитом и смальтином, руды содержат в заметных количествах никелин, раммельсбергит, арсенопирит, лёллингит и золото. Мощность жил редко достигает 1,5 м; содержание в них кобальта колеблется от 0,75 до 16,0%. Ручной рудоразборкой содержание его в исходном продукте доводилось до 11–12% и никеля – до 2,5%.

Общие и доказанные запасы кобальта Марокко составляют 14 тыс. т при среднем содержании его в руде 1,2%. В 1980 г. производство кобальта составило 0,8 тыс. т.

В общих запасах меди в капиталистических и развивающихся странах на начало 1981 г. (477 млн. т) доля докембрийских месторождений составляет 20%, соответственно никеля (57,7 млн. т) – 25% и кобальта (3 млн. т) – 33%. Удельный вес докембрийских месторождений в общей добыче меди 1980 г. составил 16%, никеля 54,7% и кобальта 74,7%.

СВИНЕЦ, ЦИНК, СЕРЕБРО

Свинец и цинк не характерны для металлогении докембрия и обычно встречаются (преимущественно цинк) в качестве сопутствующих компонентов в рудах медноколчеданных месторождений. К самостоятельным свинцово-цинковым месторождениям докембрийского возраста за рубежом относятся два уникальных по запасам и качеству руд месторождений Брокен-Хилл в Австралии и Сулливан в Канаде, а также небольшое количество менее крупных месторождений.

Месторождение *Брокен-Хилл* (рис. 28) расположено в юго-западной части Нового Южного Уэльса в Австралии и является одним из самых крупных в мире месторождений полиметаллических руд. Оно открыто в 1883 г.; за все время эксплуатации (до 1980 г.) на нем добыто более 100 млн. т руды и извлечено свыше 13 млн. т свинца и 10 млн. т цинка.

Главные рудные тела месторождения в форме отдельных линз и седловидных залежей приурочены к зоне шириной 300 м и протяженностью более 7 км, где они залегают среди нижнепротерозойских кварцитов и разнообразных кристаллических сланцев, амфиболитов и силлиманит-гранатовых гнейсов, прорванных гранитами, пегматитами и дайками долеритов также докембрийского возраста. В районе месторождения эти породы образуют крупную антиклинальную структуру, осложненную мелкими складками, к которым приурочено оруденение. Минерализация носит отчетливо выраженный высокотемпературный характер. Наряду со сфалеритом, галенитом, цинковой шпинелью (ганитом), родонитом, магнетитом, флюоритом, кварцем, кальцитом руды содержат также в заметных количествах полевой шпат, марганцовистый гранат и пироксен. В незначительных количествах присутствуют пирит, халькопирит, тетраэдрит.

Абсолютный возраст главных рудных залежей месторождения определен в 1600 ± 130 млн. лет. Известны также сравнительно небольш-

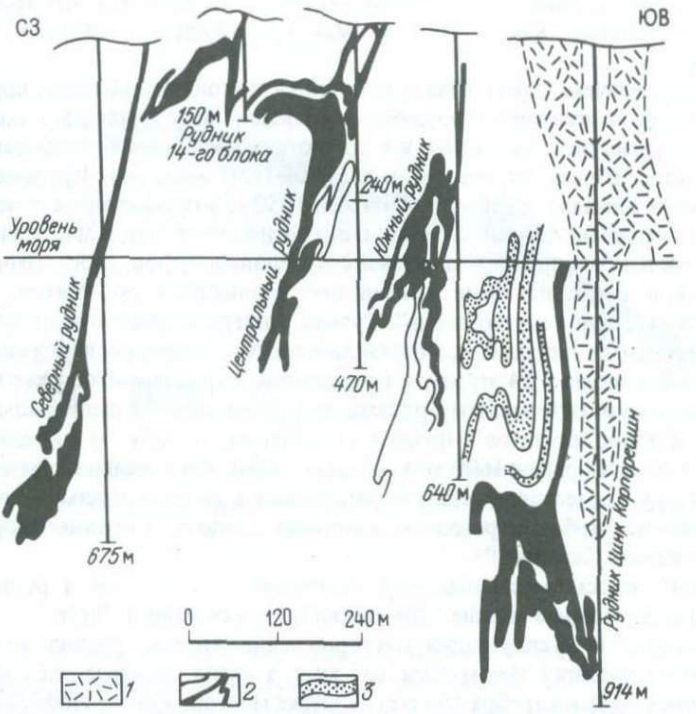


Рис. 28. Разрезы через месторождение Брокен-Хилл *(по Э. Эндрюсу)*:

1 – гнейсы; *2* – свинцово-цинковые руды; *3* – цинковые руды

шие рудные тела, возраст которых равен 1020 ± 150 млн. лет. Одни исследователи считают, что они сформировались в результате переотложения рудных минералов более древних первичных руд, образовавшихся путем избирательного замещения благоприятных слоев, другие – что первичные руды генетически синхронны с накоплением терригенно-хемогенных осадков и продуктов риолитового, дацитового и базальтового вулканизма.

На начало 1977 г. доказанные запасы месторождения составляли 17,7 млн. т руды, содержащей в среднем 10,8–13% свинца, 11,5% цинка и до 250 г/т серебра. В 1975 г. на глубине 1540 м разведочным бурением вскрыты богатые руды, содержащие 26,6% свинца, 21,2% цинка и 447 г/т серебра. В последнее время годовая добыча руды составляет 2,5 млн. т, производство свинца (в концентрате) примерно 220 тыс. т, цинка 280 тыс. т и серебра 220 т. Кроме того, из руд извлекаются золото, медь, кадмий.

Кроме Брокен-Хилла, в стране известен и ряд других полиметаллических месторождений докембрийского возраста, среди которых по ма-

сштабу промышленного оруденения особенно выделяются Маунт-Айза (Северо-Западный Квинсленд) и Мак-Артур-Ривер (Северная территория).

Месторождение *Маунт-Айза* приурочено к одноименной толще пород, представленной доломитизированными сланцами и доломитами с подчиненным количеством кварцитов и вулканогенно-осадочных образований. Возраст этой толщи определяется в 1800–1650 млн. лет. Рудовмещающая пачка Уркварт достигает мощности 1050 м и представлена доломитовыми сланцами, обогащенными сингенетическим пиритом, а также углистыми и кремнистыми сланцами с прослоями туфов, слоистыми доломитами и неправильными телами брекчированных доломитов, так называемых „силико-доломитов". Ручная минерализация представлена стратиформными линзами полиметаллического состава, расположенных в углистых сланцах в 14 этажей, и прожилково-вкрапленными, реже массивными медноколчеданными рудами, приуроченными к неправильным телам „силико-доломитов". Возраст оруденения, по данным изотопного анализа галенита, равен 1600 млн. лет. Большинство исследователей считают, что руды месторождения формировались гидротермально-осадочным путем из глубоких рассолов, поступивших по зоне древнего сброса в ограниченный бассейн.

Общие запасы месторождения оцениваются в 56 млн. т руды со средним содержанием свинца 6,8%, цинка 6,5% и серебра 150 г/т.

Готовится к эксплуатации месторождение *Хилтон*, расположенное в 20 км от рудника Маунт-Айза (37 млн. т руды, содержащей свинца 7,7%, цинка 9,6% и серебра 180 г/т), а также месторождение *Леди Лоретта* (8,7 млн. т руды, содержащей свинца 6,7%, цинка 18,1% и серебра 93 г/т) и ряд других небольших месторождений в этом районе.

Месторождение *Мак-Артур-Ривер* находится под руслом р. Мак-Артур и приурочено к толще пород доломитовой формации Барней Крик, возраст которой определен в 1500 млн. лет.

Оруденение локализуется среди сланцево-доломитовых пород и представлено тремя группами стратиформных залежей, мощностью от 30 до 60 м, залегающих на глубинах от 15 до 630 м. Основная масса руд приурочена к нижнему горизонту пиритизированных сланцев в виде семи линзовидных тел, разделенных седиментационными брекчиями. В глинистых разностях разреза развиты линзы медных руд. Общие запасы месторождения оцениваются в 190 млн. т руды, содержащей 4,1% (7,8 млн. т) свинца, 9,5% (18 млн. т) цинка и 44 г/т серебра, и 4 млн. т медной руды с содержанием меди 1,1%.

Работы по подготовке месторождений к освоению будут закончены в 80-х годах. Основные трудности связаны с изменением русла реки Мак-Артур, с постройкой обогатительной фабрики и порта отгрузки. Проектная мощность предприятия составит 3 млн. т руды в год. Эксплуатация будет вестись открытым и подземным способом. При этом около 100 млн. т руды будет добыто карьером.

Крупнейшее в К а н а д е месторождение полиметаллических руд

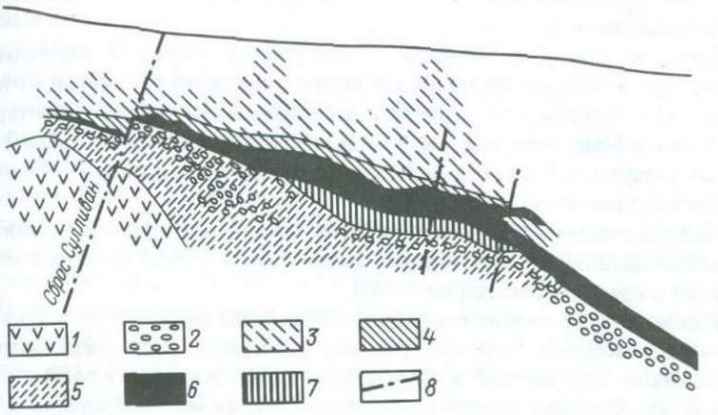


Рис. 29. Вертикальный разрез рудника Сулливан *(по К. Свэнсону)*:

1 – габбро и гранофировые породы; *2* – конгломераты лежачего бока; *3* – альбитовые породы; *4* – хлоритовые породы; *5* – турмалиновые породы; *6* – руды; *7* – пирротин; *8* – сбросы

Сулливан, предположительно докембрийского возраста, расположено в провинции Британская Колумбия. Рудная залежь месторождения, образованная в результате замещения сульфидами верхнепротерозойских аргиллитов, алевролитов и кварцитов, в форме крупной линзы длиной 1800 м при ширине 80 м залегает в своде и восточном крыле антиклинали (рис. 29). В лежачем боку залежи вмещающие породы интенсивно турмалинизированы, а в висячем – альбитизированы. В пределах залежи выделяются два участка с богатым промышленным оруденением, разделенных участком низкосортных, преимущественно пиритовых руд.

Промышленные руды отливаются весьма разнообразным минеральным составом. Главные рудообразующие минералы – галенит, сфалерит (марматит) и пирротин; в переменных, обычно небольших количествах присутствуют пирит, халькопирит, арсенопирит, джемсонит, магнетит и касситерит. Из нерудных минералов встречаются гранат, диопсид и кальцит. Богатая *турмалином зона изменения* боковых пород располагается в лежащем боку рудного тела, а зона, богатая альбитом, – в висячем.

Несмотря на долголетнюю эксплуатацию (с 1920 г. добыто более 75 млн. т руды), оставшиеся общие запасы оцениваются около 50 млн. т руды, содержащей 6,3 млн. т суммы свинца и цинка. Добыча ведется на 11 горизонтах и в 1978 г. составила 2,2 млн. т руды. На обогатительную фабрику поступало 9,5 тыс. т руды в сутки, из которой получали до 700 т свинцового концентрата (65% свинца) и 100 т цинкового (*цинка* 48 %); извлекаются также медь, золото, олово, кадмий, сурьма и сера.

Относительно возраста месторождения существует несколько точек зрения. *Бóльшая часть исследователей* относят образование месторожде-

ния к позднедокембрийскому времени, меньшая часть – к позднемеловому или третичному.

Наиболее крупные ресурсы цинка сосредоточены в колчеданных месторождениях цинково-медных и медно-цинковых руд, среди которых по масштабу оруденения особенно выделяются *Кидд-Крик* в Онтарио и *Флин-Флон* в Манитобе (см. медь). На месторождении Кидд-Крик с начала эксплуатации добыто более 30 млн. т руды, содержащей 9,75% цинка, 1,52% меди и около 115 г/т серебра.

Значительным источником добычи цинка продолжает оставаться медноколчеданное месторождение Флин-Флон, в рудах которого его содержание в среднем составляет 4,24%.

Вблизи месторождения в районе Сноу Лэйк открыто несколько новых месторождений преимущественно цинковых руд, среди которых по масштабу оруденения и богатству руд выделяется месторождение *Чизел Лэйк*. Среднее содержание цинка в рудах месторождения составляет 11,6%, а общие запасы металла оцениваются в 444 тыс. т.

Ряд новых месторождений цинковых и медно-цинковых руд разведан за последние годы также в северо-западной части провинции Квебек, в районе озера Маттагами. Метасоматические рудные залежи этих месторождений приурочены к архейским осадочно-вулканогенным образованиям. К основным рудообразующим минералам относятся сфалерит, пирит, пирротин и халькопирит. Часто в рудах присутствует магнетит, редко – галенит. Наиболее крупным из разведанных месторождений является *Маттагами Лэйк*, где общие и достоверные запасы цинка составляют около 3 млн. т при содержании его в рудах от 8 до 12%. Руды содержат также медь – от 0,86 до 1,25%, золото – 0,6 г/т и серебро – 40 г/т. Запасы цинка других месторождений этого рудного района оцениваются в десятки тысяч тонн.

В С Ш А докембрийские свинцово-цинковые руды и трещинные кварц-халькопиритовые и кварц-золото-серебряные жилы известны в штате Аризона. К ним относится свинцово-цинковое месторождение *Айрон-Кинг*, которое представлено 12 жилообразными телами, расположенными кулисообразно в милонитизированной зоне дробления. Рудные залежи сложены мелкозернистыми массивными сульфидными полосчатыми рудами, состоящими из пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита, халькопирита и теннантита. Из нерудных минералов присутствуют анкерит, кварц, серицит и в незначительном количестве хлорит. В рудах отмечается заметное содержание золота и серебра. Полосчатость руд обусловлена отложением рудных минералов, в основном сфалерита, вдоль внутриминерализационных трещин и различием в скорости отложения жильных минералов.

В Западной Гренландии с 1973 г. разрабатывается месторождение полиметаллических руд *Блэк-Эйнджел*, абсолютный возраст которого определен в 1790–1650 млн. лет. Доказанные запасы руд месторождения составляют 4,1 млн. т, суммарное содержание свинца и цинка 20% и серебра 31,1 г/т. Проектная мощность рудника рассчитана на производство 170 тыс. т концентратов (135 тыс. т цинковых и 35 тыс.т свинцовых).

К докембрийскому возрасту, по-видимому, относятся наиболее крупные месторождения И н д и и, расположенные в штате Раджастхан, где они залегают среди древних глубокометаморфизованных пород. Общие запасы руд разведанных здесь месторождений: *Завар* 100 млн. т (при содержании суммы свинца и цинка 5–6%), *Раджпура-Дариба* – 60 млн. т (9%), *Тур-Банера* – 10 млн. т (4–5%) и *Амбаната-Дери* – 7 млн. т (15%).

Общие запасы свинца и цинка, заключенные в основном в докембрийских месторождениях, оцениваются соответственно в 3,5 млн. и 5,6 млн. т, из них доказанные 0,9 млн.и 2,2 млн. т. В 1980 г. производство свинца в концентрате достигло 12,9 тыс. т, цинка – 38,8 тыс. т.

До последнего времени в Ю А Р не были известны месторождения свинца, запасы цинка учитывались по месторождению *Прииска,* первоначальные ресурсы руд которого оценивались в 47 млн. т при среднем содержании цинка 3,9% и меди 1,7%. Теперь в Капской провинции выявлен и подготовлен к разработке ряд крупных, предположительно докембрийских, колчеданно-полиметаллических руд, в которых сосредоточено 6,3 млн. т свинца и 12,6 млн. т цинка, при среднем их содержании 2,5 и 3,5%. Наиболее крупное существенно цинковое месторождение *Гамсберг* представлено пластообразными залежами мощностью от 9 до 30 м, прослеженными на протяжении 4,5 км. Подсчитанные запасы руды составляют 95 млн. т при среднем содержаний цинка 7,4% и свинца 0,55%. Другие месторождения *Брокен-Хилл, Блэк-Маунтит* и *Эггенис* расположены недалеко от г. Поффадер.

Предполагалось начать разработку месторождения Брокен-Хилл, запасы которого оцениваются в 37 млн. т руды, содержащей меди 0,4%, свинца 4,5%, цинка 2,3% и серебра 52,9 г/т; руды могут добываться открытым способом. Кроме того, разведано дополнительно 25 млн. т руды более низкого качества, которую можно осваивать подземными методами. Считают, что на месторождении в год можно получать 150 тыс. т свинца, 70 тыс. т цинка, 10 тыс. т меди и 186,6 т серебра.

Общие запасы руды на месторождении Блэк-Маунтин оцениваются в 80 млн. т, при содержании свинца 2,9%, цинка 0,5%, меди 0,8% и серебра 24 г/т. Запасы месторождения Эггенис составляют 69 млн. т руды с содержанием свинца 3–4,5%, цинка 2,25%, меди 0,4% и серебра 31–53 г/т.

Весьма интересная в практическом и научном отношении группа месторождений свинцово-цинковых руд известна в центральной части З а м б и и. Рудные залежи месторождений приурочены к докембрийским доломитам и характеризуются исключительно высоким содержанием полезных компонентов. Так, среднее содержание свинца в рудах составляет 14%, цинка 29%, V_2O_5 0,5–0,86%. В окисленных рудах, развитых до глубины 30 м, преобладают церуссит, пироморфит, фосфаты цинка, деклуазит. Сульфидные руды представлены галенитом и сфалеритом при незначительном количестве халькопирита и ванадинита. Общие запасы цинка в месторождениях этой группы оценивались в 600 тыс. т и свинца в 280 тыс. т.

В 1975 г. в стране произведено 26 тыс. т свинца и 66 тыс. т цинка в концентратах, а в 1980 г. соответственно – 10,1 тыс. и 32,8 тыс. т.

Судя по последним данным, к докембрию относятся месторождения полиметаллических и ванадийсодержащих полиметаллических руд, широко развитых в Намибии, хотя многие геологи считали их возраст мезозойским и даже кайнозойским. Месторождения залегают среди пород отавской свиты – доломитов, переслаивающихся с глинистыми сланцами и известняками, – которые считались предположительно кембрийскими. Между тем абсолютный возраст руд этих месторождений установлен в 540 млн. (Цумеб) и 790 (Абенаб) млн. лет, что позволяет считать их, так же как и вмещающие породы отавской свиты, докембрийскими образованиями (рис. 30).

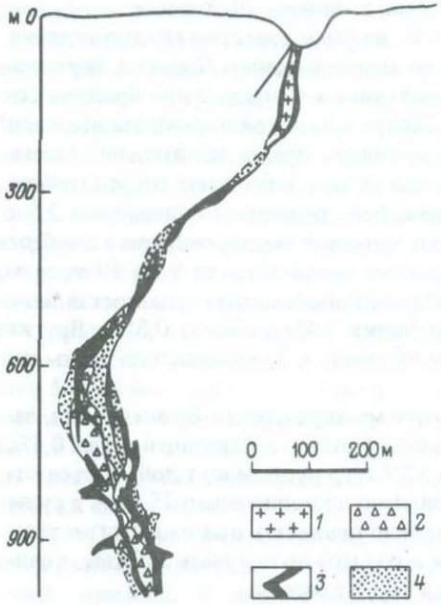


Рис. 30. Схема геологического строения месторождения Цумеб *(по Г. Сенге) :*

1 – аплитовидная порода; *2* – брекчии взрывов; *3* – массивные сульфидные руды; *4* – вкрапленные

Оруденение приурочено к зонам брекчирования в карбонатных породах. Здесь с 1907 г. разрабатывается месторождение *Цумеб*, руды которого содержат пирит, халькопирит, борнит, сфалерит, галенит, энаргит, тетраэдрит, халькозин, германит и другие германийсодержащие минералы. Руды отличаются высоким содержанием меди – 4,47%, свинца – 13,8% и цинка – 5,5%; запасы каждого из этих металлов оцениваются в несколько сотен тесяч тонн. Кроме того, руды содержат в промышленных количествах ванадий, кадмий, германий и серебро, а также значительные запасы плавикового шпата, содержание которого превышает 25%.

В начале двадцатых годов этот рудный район приобрел известность как крупный источник ванадия в связи с открытием месторождения *Абенаб* и ряда других месторождений. На месторождении Абенаб ванадиевое оруденение приурочено к верхним горизонтам рудоносных тектонических брекчий, в которых наряду с церусситом и вторичными минералами цинка широко развиты конкреции и желваки ванадинита и деклуазита. Оруденелыми являются около 20% доломитов, слагающих брекчированную зону. Содержание V_2O_5 в обогащенных участках составляет 2–3%, содержание свинца и цинка – значительно выше. Глубокие горизонты месторождения представлены свинцово-цинковыми сульфидными рудами с незначительным содержанием ванадия. Сходные ванадийсодержащие полиметаллические руды установлены во многих других месторождениях этого района. В качестве

общей закономерности отмечается, что в месторождениях северо-западной части района преобладает моттрамит (ванадат меди и свинца), а в месторождениях юго-восточной части – деклуазит и купродеклуазит. Запасы ванадия оцениваются в несколько десятков тысяч тонн.

В Намибии общие запасы свинца оцениваются в 700 тыс. т, цинка 1000 тыс. т, из них доказанные соответственно 500 тыс. и 700 тыс. т при среднем содержании 4,7 и 5,4%. Производство свинца в концентрате снизилось с 57,2 тыс. т в 1974 г. до 37,0 тыс. т в 1980 г., соответственно цинка с 39,4 тыс. т до 26,3 тыс. т.

Проявления полиметаллической минерализации докембрийского возраста известны и в ряде других стран Африки.

В Танзании сравнительно небольшие месторождения свинца генетически связаны с архейскими аляскитовыми гранитами. Среднее содержание свинца в рудах этих месторождений колеблется от 2,5 до 6,5%. Руды содержат также медь (0,6–0,7%), серебро (80–120 г/т) и золото (2 г/т). Запасы свинца в отдельных месторождениях оцениваются в 100 тыс. т.

Предположительно к докембрийскому возрасту отнесены вкрапленные медно-полиметаллические руды месторождения *Соньяти* в Зимбабве. Руды содержат в среднем (в %) меди 1,4, цинка 2,85 и свинца 1,35. Достоверные запасы меди составляют 212 тыс. цинка 430 тыс. и 200 тыс. т.

К докембрийскому возрасту, вероятно, относится ряд полиметаллических месторождений Швеции. Наиболее крупные из них находятся в северной части страны, в районах Шеллефтео и Лайоваль. В районе Шеллефтео разрабатывались девять сравнительно небольших месторождений, приуроченных к туфо-эффузивным породам докембрийского возраста. Содержание в их рудах цинка обычно составляло около 3% при первых десятых процента свинца и меди. В районе Лайоваль развиты месторождения свинцово-цинковых руд вкрапленного типа, приуроченные к докембрийским песчаникам и кварцитам. По масштабам оруденения и добычи выделялось месторождение *Лайоваль* с запасами руды 28 млн. т и содержанием свинца 4,5%. На его базе действовал рудник мощностью 325 тыс. т руды в год. В 1980 г. в Швеции произведено 72,2 тыс. т свинца в концентрате и 167,4 тыс. т цинка.

В Финляндии основным источником добычи свинцовых руд является месторождение *Корнеси*, расположенное вблизи г. Васа. Доказанные запасы свинца здесь составляют 50 тыс. т при среднем его содержании 1,5%. Среднегодовая добыча руды составляет 100 тыс. т. Наиболее крупный источник цинка – месторождение *Виханти*, расположенное к югу от г. Оулу. Линзообразные рудные тела его приурочены к двум параллельным зонам скарнов, залегающих в докембрийских мраморах, переслаивающихся с мусковитовыми сланцами и кварцитами. Руды содержат (в %) цинка 12, свинца 0,6, меди 0,5 и небольшое количество золота и серебра.

Общие запасы свинца в стране оцениваются в 80 тыс. т, а цинка в

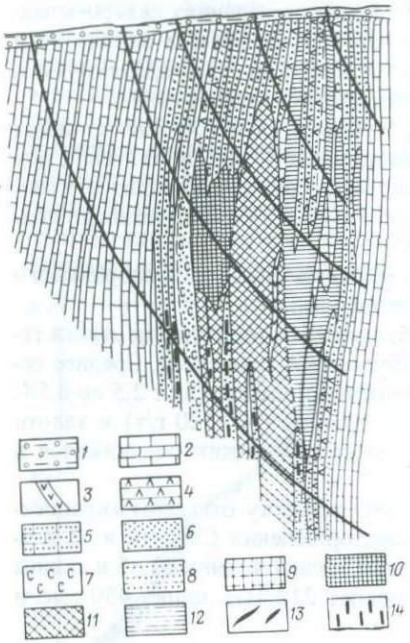


Рис. 31. Разрез Горевского месторождения *(по М. П. Проснякову и Р. Н. Володину)* :

1 – рыхлые отложения; *2* – известняки; *3* – оливиновые долериты; *4–9* – гидротермально измененные породы: *4* – доломитизированные известняки, *5* – окварцованные известняки, *6* – кварцит, *7* – сидерит, *8* – кварц-карбонатная порода, *9* – сидеритизированный известняк; *10–14* – типы руд: *10* – цинково-свинцовая руда, *11* – свинцово-цинковая руда, *12* – свинцовая руда, *13* – галенит-сфалеритовые прожилки, *14* – пирротиновое оруденение

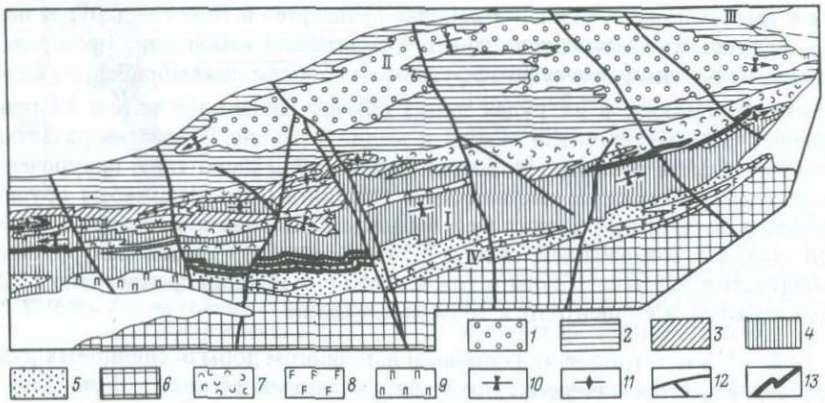


Рис. 32. Тектоническая схема Холоднинского месторождения *(по Г.В. Ручкину, В.П. Бушуеву и др.)* :

Породы кварцитовой подсвиты: *1* – верхняя пачка, *2* – средняя и нижняя пачки; породы черносланцевой подсвиты: *3* – верхняя пачка, *4* – средняя пачка, *5* – нижняя пачка; *6* – породы авкитской свиты; *7* – зона развития порфиробластических сланцев и интрузивных тел основного состава; *8* – габбро-диабазы; *9* – гипербазиты: *10* – ось синклинали; *11* – ось антиклинали; *12* – разрывные нарушения; *13* – рудные тела: I – *Рудная синклиналь*, II – *Северная синклиналь*, III – Тыйский разлом, IV – Авкитский разлом

2000 тыс. т. В 1980 г. производство свинца в концентрате составило 1100 т, а цинка 58,4 тыс. т.

В последнее время заметно возрос удельный вес докембрийских месторождений в общих запасах свинца и цинка СССР за счет открытия и разведки месторождений в восточных районах страны. К ним относится *Горевское* месторождение, рудные залежи которого пласто- и линзообразной формы залегают в основном согласно с доломитизированными и окварцованными известняками синия, прорванными дайками и штоками оливиновых долеритов (рис. 31). Абсолютный возраст последних, определенный калий-аргоновым методом, составляет 915 млн. лет. С оливиновыми долеритами парагенетически связано оруденение, представленное вкрапленными, прожилково-вкрапленными и массивными рудами плойчатой и полосчатой текстуры. Основные рудообразующие минералы – галенит, сфалерит и пирротин; среднее содержание сульфидов в рудах составляет 16–20%, сидерита и анкерита 32–42%, кварца 32–38%. Содержание свинца в контурах промышленных руд колеблется от 1,6 до 23,2% и цинка от 0,1 до 14,8%.

Весьма перспективной представляется Олокитско-Мамская зона Северного Прибайкалья, где разведано *Холоднинское* месторождение, приуроченное к черносланцевой свите, представленной чередованием графитсодержащих слюдисто-карбонатных и кварц-слюдяных сланцев, метаморфизованных графитистых песчаников и графитсодержащих песчанистых известняков общей мощностью 1000 м (рис. 32). Подчиненное значение имеют интрузивные породы, представленные метаморфизованными силлообразными залежами габбро-диабазов и серпентинизированными ультраосновными породами верхнепротерозойского возраста, с которыми связано сульфидное медно-никелевое оруденение. Залежи полиметаллических руд группируются в двух зонах. В первой, наиболее значительной по масштабам, преобладают массивные и полосчатые руды, а во второй – прожилково-вкрапленные. Руды слагаются пиритом, пирротином, сфалеритом, галенитом и халькопиритом; в незначительном количестве присутствуют арсенопирит, блеклые руды, рутил, магнетит и ильменит. Нерудные минералы представлены кварцем, кальцитом, мусковитом, реже встречаются дистен, анортит и битовнит, турмалин, альмандин, цинковая шпинель и биотит. Суммарное содержание свинца и цинка в рудах колеблется от 2,5 до 10,0%. Отношение свинца к цинку соответствует 1 : 4. Возраст месторождения, определенный по изотопному анализу свинца, составляет 900–1000 млн. лет.

В Западном Прибайкалье в пределах байкальской складчатости выделяется полиметаллический пояс, протягивающийся на 500–600 км и состоящий из трех рудных зон: *Ульканской, Лено-Тонгодинской* и *Западной*. Известные здесь месторождения приурочены преимущественно к карбонатным породам верхнего протерозоя.

К докембрию также относятся скопления богатых стратиформных свинцово-цинковых руд, распространенных на обширной территории Майско-Кыллахской металлогенической зоны в Якутии.

Докембрийские месторождения этих металлов редки, и практическое значение их сравнительно невелико. В значительной степени это, вероятно, обусловлено глубоко проявившимися эрозионными процессами, уничтожившими ранее существовавшие, возможно, крупные месторождения гидротермального происхождения.

Наиболее распространены месторождения олова, представленные главным образом оловоносными пегматитами и реже грейзенами, касситерито-кварцевыми жилами или скарнами, редко содержащими WO_3.

Самый крупный район развития докембрийского оловянного оруденения расположен в З а и р е, где он протягивается меридиональной полосой длиной свыше 1200 км вдоль восточной границы страны, через центральную Катангу, Киву, и включает частично Руанду, Бурунди и примыкающие участки Уганды и Танзании. Месторождения связаны со среднедокембрийскими гранитами, прорывающими более древнюю сланцевую формацию. Олово встречается в гранитных пегматитах и в меньшей мере в кварцевых жилах и сопровождающих их грейзенах.

Крупнейшее месторождение этого района – *Маноно Китотоло*, представленное двумя лакколитами гранитных пегматитов протяженностью около 5 км каждый при средней ширине 400 м. Выделяются несколько фаз кристаллизации этих пегматитов. К первой фазе относятся крупные кристаллы калиевого полевого шпата и кварца. В начале следующей фазы происходила кристаллизация первичного альбита, сподумена, берилла и апатита, а в конце ее – вторичного альбита (кливлендита) и, вероятно, голубого турмалина, касситерита и колумбита. Грейзены относятся к более поздней стадии формирования пегматитов, которое окончательно завершилось гидротермальной минерализацией. Кварц и мусковит выделялись во всех фазах кристаллизации пегматита.

Минерализация пегматитов весьма сложная; помимо главных породообразующих минералов – калиевого полевого шпата, кварца, первичного альбита, сподумена, апатита, они содержат берилл, литиевые слюды, флюорит, касситерит, танталит, колумбит, торолит, лёллингит, арсенопирит, пирит, ильменит, циркон, рутил, отунит, оксиды железа и марганца и хлорит. Касситерит равномерно рассеян в массе пегматита в виде мелких уплощенных зерен. Среднее содержание его составляет 0,1–0,13%. Касситеритовые концентраты содержат до 5–7% оловотанталового минерала торолита ($Sn\ Ta_2\ O_7$). Разведанные до глубины 120 м запасы олова составляют 140 тыс. т. Это только часть общих запасов месторождения, так как минерализация распространяется глубже горизонта разведочных работ.

С докембрийскими коренными месторождениями олова в Заире связан ряд промышленных оловянных россыпей, которым принадлежала ведущая роль в общей добыче олова в стране. В 1945 г. добыча достигла 16, 2 тыс. т. Позднее производство олова в концентрате постепенно снижалось и в 1974 г. составило 4,7 тыс. т, а в 1980 г. только 3,16 тыс. т. Общие запасы олова в стране оцениваются в 200 тыс. т, в том числе доказанные – 100 тыс. т.

Несколько более древними считаются оловоносные пегматиты Замбабве. Они также характеризуются комплексным составом и наряду с касситеритом содержат берилл, лепидолит и тантало-ниобаты.

В ЮАР сравнительно небольшие месторождения касситерита генетически связаны с красными гранитами Бушвелдского интрузивного комплекса, абсолютный возраст которых определен в 1920 ± 130 млн. лет. Известные здесь многочисленные месторождения представлены разнообразными типами оруденения, среди которых выделяются пегматоидные трубы и гнезда, кварц-турмалиновые и хлоритовые зоны. Месторождения отличаются мелкими размерами, и общая годовая добыча не превышает 2,9 тыс. т олова.

Мелкие месторождения олова, представленные кварцевыми жилами и штокверками в гранитах, прорывающих докембрийские кристаллические сланцы, пара- и ортогнейсы, распространены в Нигерии. В результате их разрушения образовались значительные промышленные россыпи, которые обеспечивали высокую добычу (до 12 400 т в год). Помимо касситерита россыпи содержат колумбит, танталит и вольфрамит. В связи с отработкой наиболее богатых россыпей среднее содержание касситерита в добываемых песках снизилось с 1 кг/м^3 (1939–1940 гг.) до 0,3 кг/м^3. Разрабатываются также оловоносные пегматиты, в которых основную ценность представляют тантало-ниобаты и монацит.

Месторождение *Лируей* представлено крупной кварцевой жилой со средним содержанием олова 0,8%. Жила прослежена по поверхности на 4,5 км и на глубину более 300 м. Проектная производительность рудника определена в 180 тыс. т руды и 700 т олова.

Добыча олова в Нигерии снизилась к 1974 г. до 6,5 тыс. т и в 1980 г. до 2,6 тыс. т. Общие запасы олова страны оцениваются в 280 тыс. т, половина которых отнесена к доказанным.

В Австралии известно месторождение оловоносных пегматитов *Вуджина,* возраст которого определен в 2,1 млрд. лет. Здесь встречаются также мелкие проявления касситерито-кварцевой формации и оловоносные грейзены в гранитах, которые явились основным источником питания россыпей, разрабатываемых в настоящее время.

Мелкие проявления олова докембрийского возраста известны и на других континентах, но практического значения они не имеют.

Обширный район (площадью около 155 тыс. км^2) проявлений оловянной минерализации обнаружен в Бразилии (территория Рондония). Он располагается в области сочленения архейского складчатого основания (Западно-Бразильский щит) с платформенной впадиной, заполненной кайнозойскими осадками (впадина Амазонки). Здесь многочисленные штоки биотитовых гранитов прорывают докембрийские породы, образуя пояс меридионального направления. Оловянная минерализация приурочена к зонам грейзенов в аргиллитизированных гранитах и к топазо-кварцевым жилам. Главный рудный минерал в них – касситерит, который на отдельных участках сопровождается вольфрамитом. Абсолютный возраст оруденелых пород определен в 980 ± 20 лет. Промышленного значения рудная минерализация не имеет. Однако

за счет разрушения оловоносных гранитов образовались элювиальные россыпи, содержащие до 5–8 кг/м^3 касситерита. Разведанные запасы олова этого района составляют 600 тыс. т, а прогнозные запасы, определенные бразильскими геологами, достигают 5 млн. т. Освоение этих россыпей позволило стране увеличить добычу олова с 1 тыс. до 7 тыс. т, и предполагается довести ее до 21 тыс. т, что выведет Бразилию в ведущие производители олова мира.

Многочисленные месторождения стратиформных шеелитоносных скарнов известны в пределах плоскогорья Борборема, но возраст их остается неясным. Они весьма слабо изучены, хотя общие перспективы их оцениваются весьма высоко. Считают даже, что этот район может стать одним из крупных мировых источников вольфрама. Руды представлены эпидот-гранат-кварцевыми скарнами и приурочены к докембрийским карбонатным породам, переслаивающимся со слюдяными сланцами близ гранитных интрузий. Наряду с шеелитом скарны содержат до 2% молибденита.

Ряд небольших шеелитоносных скарновых месторождений, генетически связанных с шведокарельскими гранитами, известен в Ш в е ц и и. Общие их запасы оцениваются всего в 5 тыс. т WO_3, а годовое производство его в концентрате не превышает 560 т.

В графитистых сланцах докембрийских толщ Центрально-Французского массива установлены вольфрамсодержащие горизонты.

В С С С Р оловянное оруденение докембрийского возраста развито в пределах Балтийского щита, где оно локализуется в экзоконтактах массива гранитов рапакиви среди апокарбонатных пород среднего протерозоя. Рудные тела, представленные скарновыми залежами и оловянно-полиметаллической минерализацией, имеют пластообразную форму, согласную с карбонатными горизонтами вмещающих пород.

МОЛИБДЕН

Экономическое значение докембрийских месторождений молибдена ничтожно. К ним относится наиболее крупное в Западной Европе молибденовое месторождение *Кнабен* -и ряд более мелких месторождений в южной части Н о р в е г и и, приуроченных к зоне дробления в древних амфиболитах и гранито-гнейсах, интрудированных гранитами (950–850 млн. лет). Она прослеживается в меридиональном направлении на 20 км при ширине 1,5 км и заключает ряд молибденсодержащих кварцевых жил и сравнительно большие участки минерализованных гранитов. Среднее содержание молибдена в рудах месторождения Кнабен составляло 0,2–0,3%, а годовая добыча молибдена порядка 250–350 т. Месторождение эксплуатировалось с 1885 г., добыча прекращена весной 1973 г. из-за снижения содержания молибдена в руде.

В К а н а д е с докембрийским рудогенезом связаны месторождения Ля-Корн и Норанда в провинции Квебек. Месторождение *Ля-Корн* представлено молибденитсодержащими пегматитовыми и кварцевыми жилами, приуроченными к контакту докембрийских гранитов и архей-

ских сланцев. Мощность жил колебалась от 0,3 до 2 м при длине по простиранию, достигающей нескольких сотен метров. Среднее содержание молибдена в руде около 0,24%, годовая добыча 200–350 т. Попутно добывался висмут. Добыча прекращена в сентябре 1972 г.

Молибденитовая минерализация месторождения *Норанда* (Прейсак) приурочена к контактовой зоне верхнепротерозойского гранитного батолита с архейскими сланцами и генетически связана с пегматоидной богатой мусковитом разностью. Промышленное значение представляли штокверковые руды, исходные достоверные запасы которых составляли 3 млн. т при среднем содержании молибдена 0,216% и висмута 0,053%. Годовое производство молибдена в концентрате достигало 800 т. Месторождение эксплуатировалось с 1965 г. В начале 70-х годов добыча прекращена.

БЕРИЛЛИЙ, ЛИТИЙ, ТАНТАЛ, НИОБИЙ

Редкометалльные пегматиты

Минералы этой группы редких металлов в природных условиях часто встречаются совместно и образуют промышленные концентрации главным образом в гранитных пегматитах и пневматолито-гидротермальных образованиях, в которых каждый из них в зависимости от содержания может играть роль основного компонента, определяющего экономическую ценность месторождения, или компонента, извлекаемого попутно.

До конца 60-х годов почти единственным источником бериллиевого сырья были месторождения редкометалльных гранитных пегматитов с крупнокристаллическим бериллом, который добывался ручной рудоразборкой с получением высококачественных (10–18% BeO) берилловых концентратов с выходом берилла не менее 0,3–0,6% от горной массы. Небольшое значение имели комплексные пневматолит-гидротермальные месторождения с мелковкрапленным бериллом, гельвинсодержащие скарны и десилицированные пегматиты.

Позднее решился вопрос рентабельного извлечения берилла из мелкокристаллических берилловых руд и существенно возросло значение непегматитовых источников бериллиевого сырья, представленных грейзенами, метасоматически замещенными кристаллическими сланцами и вулканитами, карбонат-флюоритовыми, щелочными полевошпатовыми и другими метасоматитами. Новые генетические типы бериллиевых месторождений характеризуются, как правило, более богатыми (0,5–1,5% BeO) и значительными по запасам (десятки – сотни тыс. т) бериллиевыми рудами, главными минералами которых являются бертрандит, бериллит, даналит, лейкофан и гентгельвин.

Вместе с тем пегматиты по-прежнему остаются основным генетическим типом промышленных месторождений бериллия, заключающим более 80% общих его запасов в капиталистических и развивающихся

странах и обеспечивающим около 70% суммарного производства бериллового концентратов.

По возрасту редкометалльные пегматиты относятся к различным эпохам рудообразования. Но больше половины известных промышленных месторождений, несомненно, образовалось в докембрийское время и приурочено к глубокометаморфизованным комплексам разнообразных по составу кристаллических сланцев. Исходя из мощности перекрывающих пород принято считать, что формирование редкометалльных пегматитов происходило на средних глубинах, примерно от 3,5 до 6 км.

Наиболее распространенным промышленным типом пегматитов с крупнокристаллическим рудоразборным бериллом являются блоковые и полнодифференцированные мусковит-микроклиновые их разности, которые обычно имеют отчетливое зональное строение с кварцевым ядром в центральной части. Пегматиты с мелкокристаллическим бериллом обычно представлены различными типами замещенных мусковит-альбитовых, сподумен-альбитовых и лепидолит-альбитовых разностей. Берилл в них парагенетически связан с альбитовым и лепидолитовым замещающими комплексами и приурочен преимущественно к участкам развития альбитизации, грейзенизации и лепидолитизации. Замещенные бериллоносные пегматиты обычно отличаются от блоковых полнодифференцированных мусковит-микроклиновых пегматитов более высоким содержанием берилла (от 0,3 до 1,5% BeO) и более крупными его запасами.

Замещенные пегматиты, особенно сподуменовые и петалит-лепидолитовые, являются источниками литиевого сырья. В них, помимо наиболее распространенных литиевых минералов, таких, как сподумен и лепидолит, обычно присутствуют петалит, амблигонит, поллуцит, реже касситерит, торолит, симпсонит, микролит. Сподумен образует крупные кристаллы длиной иногда более 10 м. Ниобиевые минералы встречаются во всех типах редкометалльных пегматитов, но содержание их настолько ничтожно (тысячные, реже сотые доли процента), что самостоятельного значения они за редким исключением не имеют и являются лишь предметом попутной добычи.

Среди редкометалльных пегматитов наибольшее практическое значение имеют полого- и крутопадающие жилы плитообразной формы и жильные зоны, сравнительно выдержанные по простиранию, мощности и падению. Размеры жил колеблются в весьма широких пределах. Встречаются пегматиты длиной до нескольких километров при мощности 40–60 м и более.

Комплексные берилл-сподуменовые пегматиты, часто с мусковитом, касситеритом и танталит-колумбитом, обычно отличаются зональным строением, причем основная минерализация (берилл, сподумен, танталит, колумбит и касситерит) приурочена к границе полевошпатовой зоны альбитизированного микроклин-пертита с кварцевым ядром. Большинство пегматитовых образований имеет жильную форму. По простиранию они прослеживаются на несколько сотен метров при мощ-

ности до 20 м. Встречаются крупные пегматитовые тела протяженностью 2000 м и мощностью 100 м. В эксплуатируемых месторождениях среднее содержание берилла составляет не менее 0,3%. Преобладает крупнокристаллическая фракция берилла, благоприятная для высокого извлечения его из породы путем простейшей рудоразборки. Встречаются кристаллы берилла массой до нескольких тонн. В большей части разрабатываемых пегматитов танталит резко преобладает над колумбитом и среднее содержание его составляет 0,03%. Весьма изменчиво содержание в пегматитах литиевых минералов, представленных преимущественно сподуменом и реже амблигонитом и лепидолитом.

Наиболее широко редкометалльные пегматиты развиты в Южной Америке.

Первое место среди капиталистических и развивающихся стран по запасам бериллия занимает Б р а з и л и я. В ее северо-восточной части сосредоточено около 500 месторождений пегматитов, из которых разрабатываются примерно 30.

Практически интерес представляют зональные пегматиты, в которых сподумен, берилл, касситерит обычно присутствуют совместно и нередко в значительных концентрациях. Кроме того, в них встречаются урановые минералы, колумбит, симпсонит, эвксенит и самарскит. Отдельные пегматитовые тела прослеживаются по простиранию на несколько сотен метров при мощности до 30—50 м.

В штате Минас-Жерайс разрабатываемые пегматиты с берилловой минерализацией отличаются высоким содержанием турмалина, колумбита и урановых минералов, попутно с которыми добывается берилл. Месторождение *Сабинополис* характеризуется большими запасами флюорита, танталита и полудрагоценных камней, славится крупными кристаллами берилла (250 х 70 см). Пегматиты с литиевой минерализацией в штате эксплуатируются в районе г. Сан-Жуан-дел-Рей, где они представлены касситерит-сподумен-лепидолитовыми разностями, и в районе г. Итамарандиба, где в основном извлекается лепидолит. Кроме того, сподумен вместе с касситеритом добывался из элювия близ г. Арасуаи.

Наиболее крупное месторождение лития *Серидозинхо*, расположенное на плоскогорье Борборема в штате Параиба, представлено сподуменовыми пегматитами мощностью от 19 до 30 м, прослеженными на протяжении более 300 м. Содержание в них сподумена составляет в среднем 20%; в меньших количествах присутствуют берилл, танталит и касситерит. До глубины 100 м запасы оксида лития оценивались в 15 тыс. т. В прошлом пегматиты Борборемы являлись главными источниками добычи берилла в стране. Теперь практическое значение в качестве источника производства танталовых концентратов приобрели пегматиты месторождения *Назарену*, расположенном в южной части штата Минас-Жерайс, которое до 50-х годов разрабатывалось для извлечения касситерита. Позднее в пегматитах установлены промышленные концентрации танталита и джалмаита, ставших основными полезными компонентами разрабатываемых руд. В целом по стране производство танталовых концентратов в 1968 г. достигло 272 т, а в 1970 г. снизилось до 209 т.

Редкометалльные пегматиты разрабатываются и в ряде других штатов страны. Общие запасы BeO в пегматитах Бразилии оцениваются в 400 тыс. т при среднем его содержании в руде 0,1–0,3%.

Основное производство бериллиевых концентратов в стране обеспечивается за счет разработки месторождения кристаллических сланцев *Боа-Виста*. Максимальный его уровень (3596 т концентратов с содержанием 11–12% BeO) из всех источников сырья достигнут в 1969 г., а затем, постепенно снижаясь, составил в 1977 г. 720 т, а в 1980 г. только 400 т.

Общие запасы лития в стране оцениваются в 35 тыс. т, а производство его в 1980 г. составило всего 100 т.

Возраст редкометалльных пегматитов Бразилии определен в 600 – 550 млн. лет. Залегают они среди докембрийских кристаллических сланцев, вблизи контакта их с гранитами, реже вдали от контакта или в самих гранитах.

Крупные месторождения редких металлов, представленные гранитными пегматитами докембрийского возраста, разрабатываются также в Аргентине, которая занимает третье место среди капиталистических и развивающихся стран по запасам бериллия (100 тыс. т общих, в т. ч. 60 тыс. т доказанных).

Наиболее крупные месторождения бериллоносных пегматитов сосредоточены в провинциях Кордова, Сан-Луис и Катамарка, где рудные тела жильной или линзообразной формы прослеживаются по простиранию на 50–200 м, но иногда и на 1000 м. Мощность их от 5 до 30 м. Большая часть этих запасов заключена в пегматитах с рудоразборным берилом. Нередко в месторождениях Аргентины встречаются крупные пегматитовые тела с весьма высоким содержанием берилла. Запасы BeO в таких пегматитах иногда достигают нескольких сотен тонн. Берилл добывается преимущественно ручной рудоразборкой попутно со слюдой и полевым шпатом и иногда с небольшим количеством сподумена.

Широко распространены редкометалльные пегматиты в Северной Америке. В Канаде, по-видимому, все они имеют докембрийский возраст, в то время как в США значительный удельный вес занимают также палеозойские, а возможно, и более молодые пегматиты.

Для пегматитов Канады характерно доминирующее развитие литиевых минералов, при сравнительно небольшом содержании, а в ряде случаев и отсутствии берилла. Крупные поля сподуменовых пегматитов разведаны и разрабатываются в районах Северо-Западных территорий, а также в провинциях Квебек, Онтарио и Манитоба. Пегматиты в форме жильных, пластообразных, а чаще линзообразных тел залегают среди архейских гнейсов и кристаллических сланцев в экзоконтактовой зоне гранитных интрузий. Среднее содержание Li_2O в рудах отдельных месторождений Канады колеблется от 1 до 1,8%. Запасы лития в наиболее крупных разрабатываемых месторождениях оцениваются в 100–300 тыс. т.

Крупное промышленное значение имеет открытое и освоенное в провинции Манитоба уникальное пегматитовое месторождение *Берник-*

Лейк, содержащее разнообразный комплекс редкометалльных минералов – высококачественный поллуцит, литиевые минералы, берилл и танталовые минералы: танталит, ваджинит, тапиолит и микролит. Запасы танталовых руд оцениваются в 2 млн. т при среднем содержании Ta_2O_5 0,23%. Освоение этого месторождения позволило Канаде занять первое место по производству танталовых концентратов среди капиталистических и развивающихся стран. Оно увеличилось с 112 т тантала в концентрате в 1969 г. до 270 т в 1970 г. и снизилось до 126 т в 1978 г. Поступающие на обогащение руды содержат 0,14–0,15% Ta_2O_5.

Месторождение является также крупным источником добычи литиевого сырья: общие запасы литиевых руд превышают 9 млн. т при среднем содержании Li_2O 2,14%. Для лепидолита этих руд характерно низкое содержание железа (0,25%) и повышенное содержание галлия (0,05%). В пределах рудного поля месторождения широко развиты также линзообразные тела пегматитов с промышленной концентрацией поллуцита. Запасы последнего превышают 150 тыс. т.

Общие запасы Li_2O в пегматитовых месторождениях Канады оцениваются примерно в 6 млн. т, из них доказанные составляют 675 тыс. т, при содержании ее в руде 1,2–4,0%. По добыче лития Канада занимает одно из ведущих мест среди капиталистических и развивающихся стран. В 1980 г. производство литиевых концентратов составило 450 т. Вместе с литиевыми минералами из пегматитов извлекаются берилл и тантало-ниобаты. Запасы BeO в Канаде не превышают 30 тыс. т.

Помимо бериллсодержащих литиевых пегматитов в Канаде известно промышленное месторождение берилла пегматитового типа *Линдох*, расположенное в провинции Онтарио. В разрабатываемых жилах этого месторождения среднее содержание берилла составило 1,24% или в перерасчете на BeO – 0,13%. Берилл приурочен преимущественно к зонам частично альбитизированного микроклинового пегматита, окружающим кварцевое ядро. Размер кристаллов колеблется от 0,6 до 5 см.

Наиболее древними в Канаде, по-видимому, являются редкометалльные пегматиты провинции Манитоба. Абсолютный возраст их определяется в 1600–2300 млн. лет. К более поздним относятся пегматиты других провинций, в частности Онтарио и Квебек; их возраст колеблется от 900 до 1200 млн. лет.

Многочисленные месторождения редкометалльных пегматитов известны в различных районах С Ш А. Запасы берилла учтены по месторождениям 12 штатов. Наиболее значительные пегматитовые поля США, расположенные в штатах Нью-Мексико, Южная Дакота и Колорадо, приурочены к гнейсам и кристаллическим сланцам докембрийского возраста и все они, вероятно, генетически связаны с докембрийскими *гранитными интрузиями*. Большинство пегматитовых месторождений представлено комплексными рудами, в которых наряду с бериллом в промышленных концентрациях содержатся танталит, сподумен, лепидолит, мусковит. Разрабатываются преимущественно месторождения с рудоразборным бериллом. *Некоторые рудники славятся исключительно*

крупными кристаллами берилла массой до 5–6 т. Запасы рудоразборного берилла в пегматитах, где его содержание превышает 1%, составляет около 6000 т. Годовое производство берилловых концентратов в 1960 г. достигло 189 т.

В южной части Скалистых гор (штат Нью-Мексико) имеется единственное в мире лепидолит-микролитовое месторождение *Гардинг*. На нем попутно с *микролитом добыто не менее 19* тыс. т лепидолита. Лепидолитовое месторождение *Пала* (штат Калифорния) известно как источник драгоценных камней (кунцит, турмалин).

Крупные ресурсы бериллия, лития, тантала и ниобия сосредоточены в многочисленных пегматитовых месторождениях различных стран Африки. Почти все известные здесь промышленные месторождения залегают среди глубокометаморфизованных докембрийских пород, но возраст многих из них остается невыясненным. Более или менее уверенно к докембрию относятся крупнейшие пегматитовые месторождения Намибии, ЮАР, Зимбабве и Заира.

Основные поля пегматитов Намибии сосредоточены преимущественно в двух районах: Намаквеленде и Дамараленде. В первом районе пегматиты отличаются более высоким содержанием берилла (иногда 12–14% в среднем по жиле), во втором преобладают литиевые пегматиты и берилл добывается в качестве побочного продукта. В обоих районах пегматиты залегают среди интенсивно дислоцированных и метаморфизованных кристаллических сланцев, прорванных гранитными интрузиями докембрийского возраста (1000 – 800 млн. лет). Пегматитовые образования преимущественно пластообразной или линзообразной формы залегают как в эндоконтактовой, так и в экзоконтактовой зоне гранитов, с которыми они генетически связаны.

Среди весьма разнообразных по структуре и минеральному составу пегматитов *Намаквеленда* наиболее широко распространены замещенные бериллоносные мусковит-альбитовые, сподумен-альбитовые и лепидолит-альбитовые разности. Широко развиты также графические и блоковые биотит-микроклиновые и мусковит-микроклиновые пегматиты. Помимо сподумена и берилла, пегматиты содержат в промышленных концентрациях танталит и лепидолит. Весьма характерно обилие висмутовых минералов, которые одно время являлись предметом добычи. Пегматиты ряда месторождений отличаются исключительно высокой продуктивностью.

Пегматиты *Дамараленда* характеризуются более разнообразным составом; наиболее распространены в них литиевые минералы: лепидолит, петалит и амблигонит, в переменных количествах присутствуют драгоценные и технические бериллы, встречаются крупные скопления поллуцита и касситерита. В замещенных пегматитах, обычно развитых в экзоконтактовых участках гранитных массивов, литиевые минералы приурочены преимущественно к кварцевому ядру, бериллы связаны с кварц-мусковитовым замещающим комплексом и тяготеют к призальбандовым частям пегматитов, а тантало-ниобаты – к альбитовой зоне замещения. В наиболее крупном месторождении *Карибиб*

содержание Li_2O в отдельных разрабатываемых пегматитовых телах колеблется от 4 до 8%. Добываются в основном литиевые руды с попутным извлечением берилла, тантало-ниобатов и касситерита.

Редкометалльные пегматиты разрабатываются также в ряде районов Ю А Р, в частности в Трансваале и в Натале. Запасы берилла только в рудах с содержанием берилла не менее 1% по месторождениям ЮАР и Намибии исчисляются в 35 тыс. т. Кроме того, имеются потенциальные запасы преимущественно мелковкрапленного берилла с содержанием его в рудах 0,1% и более, превышающие 320 тыс. т.

Редкометалльные пегматиты З и м б а б в е широко развиты среди архейских метаморфических зеленокаменных пород и прорывающих их штокообразных массивов мелкозернистых гранитов (2900–2700млн. лет). Генетически связанные с ними наиболее крупные поля пегматитов сосредоточены в районе *Бикита,* который по запасам литиевых минералов (8 млн. т) относится к числу крупнейших в мире. Пегматиты в форме пластообразных даек и жил характеризуются пологим падением и сложены преимущественно кварцем и тонкозернистым агрегатом альбита, в котором встречаются реликты крупнокристаллического микроклина. Помимо этих минералов почти постоянно и нередко в значительных количествах присутствуют мусковит, берилл, литиевые минералы, представленные лепидолитом и петалитом, и касситерит. Встречаются тантало-ниобаты, в том числе марганцевый танталит и микролит, реже симпсонит, а также магнетит, ильменит, вольфрамит и ряд других минералов. Меньше распространены крупноблоковые мусковит-микроклиновые пегматиты с большими кристаллами берилла.

Среди разрабатываемых месторождений Зимбабве по размерам запасов выделялось *Бикита-Тин.* Пегматитовая дайка этого месторождения прослежена по простиранию на 1600 м, при средней мощности 270 м, и заключает крупные скопления лепидолита. В пегматитах присутствуют также сподумен, поллуцит и берилл, встречаются амблигонит, микроклин и симпсонит.

На другом разрабатывавшемся в этом районе месторождении Эль-Хайет минерализованная пегматитовая дайка прослежена на 400 м при ширине от 30 до 60 м; в ней главным рудным минералом является высокосортный петалит, в меньшем количестве присутствуют сподумен, эвкриптит, танталит и берилл. Общие запасы Li_2O обоих месторождений в 1960 г. оценивались в 350 тыс. т.

Кроме того, в пегматитах района Бикита сосредоточены крупные ресурсы берилла и касситерита. Запасы берилла богатых руд (с содержанием берилла свыше 1%) оценивались в 12 тыс. т. Основная масса берилла и касситерита добывалась из дезинтегрированных верхних горизонтов пегматитов. Это, по-видимому, одно из наиболее древних месторождений полезных ископаемых — абсолютный возраст его определен в 2640 млн. лет.

Поля редкометалльных пегматитов разрабатывались также в других районах страны. Производство литиевых концентратов в Зимбабве воз-

росло с 182 т в 1950 г. до 100 тыс. т в 1956 г., снизилось в 1959 г. до 72,1 тыс. т и в последующие годы в связи с вводом ООН эмбарго на торговлю с бывшей Южной Родезией продолжало снижаться (15 – 5 тыс. т в год).

Значительные месторождения редкометалльных пегматитов разведаны на территории Мозамбика. Большинство пегматитовых полей расположено в пределах центрального плоскогорья, которое сложено архейскими кристаллическими сланцами и гнейсами, прорванными гранитными интрузиями докембрийского возраста. Пегматиты содержат в промышленных концентрациях берилл, сподумен, лепидолит и колумбит, обычно встречаются самородный висмут, танталит, монацит, турмалин и изредка амблигонит. В пегматитах некоторых районов широко развиты урановые минералы – главным образом давидит, реже самарскит, стибиотанталит и настуран. Они обычно ассоциируют с пиритом, халькопиритом, молибденитом, рутилом, ильменитом. Содержание U_3O_8 колеблется от 0,05 до 0,1%.

Размеры пегматитов, представленных преимущественно пластообразными телами, меняются в широких пределах. На наиболее крупном месторождении *Мунаки* пегматитовая дайка прослежена по простиранию на 1500 м при мощности, превышающей 150 м. Высоким содержанием берилла отличаются крупные, хорошо дифференцированные и существенно замещенные пегматитовые тела. Бериллы – голубые, зеленые, реже розовые (цезийсодержащие) в виде довольно равномерно рассеянных кристаллов или отдельных гнезд до 1 м в поперечнике приурочены преимущественно к контакту кварцевого ядра с полевошпатовыми зонами или к кварц-мусковитовому замещающему комплексу. Размеры кристаллов берилла позволяют значительную часть их извлекать из породы путем простейшей рудоразборки. Добыча редких металлов в Мозамбике быстро развивается. В 1960 г. здесь было добыто 1500 т берилла и около 100 т лепидолита. По экспорту берилла Мозамбик с 1949 г. уступает лишь Бразилии и Аргентине. В основном добыча осуществляется открытым способом. Значительное количество берилла и колумбита извлекается из элювия пегматитов.

Крупными ресурсами бериллия, лития, тантала и ниобия располагает Заир. В восточной части страны выявлены огромные поля пегматитов, многие из которых характеризуются высоким содержанием берилла, а также ниобиевых и тантало-ниобиевых минералов. Промышленные концентрации ниобия и тантала установлены в коренных и россыпных месторождениях олова, при разработке которых попутно извлекаются колумбит и танталит. Они выделяются из оловянных концентратов месторождения Маноно-Китотоло, которые либо плавятся в Маноно, либо экспортируются для переработки в Бельгию и Испанию.

Добыча производилась ранее в основном в выветрелых и окисленных частях пегматитовых тел, а в последнее время и в плотных свежих пегматитах. Получаемые смешанные концентраты содержат до 60% олова, ниобия и тантала. При дальнейшей переработке получают раздельные концентраты олова (с 70% олова) и тантала-ниобия. В 1977 г. произве-

дено 1034 т касситеритового концентрата, 35 т тантало-ниобиевых и 125 т оловянных шлаков, в которых сумма Ta_2O_5 и Nb_2O_5 составляет от 7 до 21%.

К докембрийскому возрасту относятся редкометалльные пегматиты, расположенные в юго-восточной части Уганды и вдоль границы Уганды с Руандой и Танзанией. Часть из них кустарно разрабатывалась.

В небольших масштабах разрабатывались докембрийские пегматиты *Анти-Атласа* в Марокко. Годовая добыча берилла не превышала 150 т.

Многочисленные редкометалльные пегматиты, пространственно и генетически связанные с докембрийскими гранитами, широко распространены на о. Мадагаскар, где они издавна разрабатываются и являются крупным мировым источником драгоценных камней – кунцитов, воробьевитов и полихромных турмалинов. Помимо драгоценных камней пегматиты Мадагаскара содержат в промышленных концетрациях *берилл, лепидолит, амблигонит, сподумен, а также минералы тантала*, ниобия и редких земель. Обычно содержание литиевых минералов невысокое, и только в отдельных пегматитовых телах среднее содержание сподумена достигает 20%. Запасы рудоразборного берилла в пегматитах с содержанием более 1% составляют 6,5 тыс. т. Потенциальные запасы берилла (в основном мелкокристаллического) в пегматитах с содержанием от 0,1 до 1% оцениваются в 110 тыс. т. Сведения о запасах и добыче литиевых минералов отсутствуют. Годовая добыча берилла за последние годы не превышает 200 т.

В пределах Азии промышленные месторождения редкометалльных пегматитов докембрийского возраста известны в Индии, СССР и КНР.

В Индии наиболее значительные месторождения расположены в Слюдяном поясе штатов Бихар и Раджастхан. Здесь они приурочены преимущественно к экзоконтактовой зоне докембрийских гранитов и залегают среди кристаллических сланцев, кварцитов и мраморов. Большая часть бериллоносных пегматитов представлена альбитизированными мусковит-микроклиновыми разностями со сравнительно высоким содержанием берилла, достигающим нескольких процентов. Размеры пегматитовых образований колеблются в широких пределах. Часто встречаются дайки пегматитов протяженностью 400–500 м при мощности до 45 м. Судя по литературным данным, общие запасы берилла в пегматитах с содержанием не менее 1% составляют 12 тыс. т, в том числе 11 тыс. т – рудоразборного. Кроме того, более 20 тыс. т берилла заключено в рудах, в которых содержание минерала составляет десятые доли процента. Приведенные цифры, по-видимому, занижены, так как за последние годы в различных районах страны открыты новые месторождения берилла. Добыча берилла в Индии, поскольку она целиком предназначена для экспорта, зависит от конъюнктуры мирового рынка. В 1969 г. производство берилловых концентратов, содержащих 11% BeO, составило 1300 т.

В некоторых пегматитах или отдельных их участках вместе с мус-

ковитом и бериллом присутствуют минералы лития, олова, тантала и ниобия, попутно извлекаемые при обогащении этих руд.

Значительное количество берилла получается попутно при разработке собственно мусковитовых пегматитов.

Кроме редкометалльных пегматитов в Индии известны весьма интересные в научном и практическом отношении месторождения изумрудов, *также докембрийского возраста*. Площади распространения изумрудоносных пород целиком сложены комплексом разнообразных кристаллических сланцев, амфиболитов, измененных перидотитов, прорванных докембрийскими турмалинсодержащими гранитами, пегматитами и кварцевыми жилами. В кристаллических сланцах и перидотитах широко проявились процессы окварцевания, каолинизации, серицитизации, хлоритизации, альбитизации, турмалинизации, вермикулитизации, кальцитизации, отальковання, серпентинизации, тремолитизации и развития антофиллита.

Кристаллы изумрудов в форме хорошо ограненных гексагональных призм длиной до нескольких сантиметров широко развиты в кристаллических сланцах, особенно в биотитовых и биотит-актинолитовых, и не встречаются в амфиболитах, роговообманковых сланцах и перидотитах. Вместе с изумрудом, окраска которого обусловлена наличием в его составе хрома, в продуктивных породах постоянно присутствуют кварц, полевой шпат, берилл, турмалин, апатит и слюды.

Относительно образования этих месторождений мнения исследователей расходятся: одни связывают их с пневматолитовой фазой постмагматического процесса гранитной интрузии и считают, что кристаллизация изумрудов происходила одновременно с формированием пегматитов, а другие рассматривают их как пневматолито-гидротермальные образования.

Редкометалльные пегматиты докембрийского возраста известны и в С С С Р. Они приурочены к протерозойским метаморфическим толщам и представлены преимущественно литиевыми пегматитами, в которых берилл имеет подчиненное значение. Более широко распространены в СССР редкометалльные пегматиты, связанные с верхнепалеозойскими и отчасти с мезозойскими гранитами.

В К Н Р условно к протерозойскому возрасту относятся редкометалльные пегматиты, сосредоточенные на территории Внутренней Монголии. Они представлены полнодифференцированными разностями, в которых основными полезными компонентами являются бериллий, ниобий и тантал.

К докембрийскому возрасту относятся многочисленные месторождения редкометалльных пегматитов З а п а д н о й А в с т р а л и и. Они недостаточно изучены и промышленностью почти не осваиваются; в небольшом объеме разрабатывается на танталит месторождение *Вуджина*. Запасы берилла в богатых рудах этого месторождения оцениваются в 5,5 тыс. т, в бедных – в 90 тыс. т. Абсолютный возраст пегматитов месторождения Вуджина определен в 2,1 млрд. лет. В результате разрушения коренных месторождений Австралии образовались промыш-

ленные россыпи олова и тантало-ниобатов, которые в прошлом интенсивно разрабатывались. До 1938 г. Австралия была единственным поставщиком танталита на мировом рынке.

В последнее время производство танталовых концентратов в стране неизменно стало возрастать в 4,5 т в 1960 г. до 85 т в 1980 г. (по содержанию в них тантала) в основном за счет переработки оловянных шлаков и концентратов.

По данным Н. А. Солодова, в капиталистических и развивающихся странах на докембрийские месторождения приходится от 72 до 92% всех пегматитовых запасов лития, рубидия, цезия, бериллия и тантала, на палеозойские – 12–23% и на мезо-кайнозойские – всего 1–5%. За истекшие 10 лет после указанных расчетов существенных изменений в распределении ресурсов этих металлов по возрасту их образования не произошло.

Непегматитовые источники редкометалльного сырья

Среди них к докембрийскому возрасту относится месторождение бериллсодержащих кристаллических сланцев *Боа-Виста*, открытое в конце 50-х годов в Бразилии в штате Минас-Жерайс. Общие запасы его руд оценивались в 14,8 млн. т при содержании в них 2,5–3% берилла. В 1962 г. на базе месторождения создано горно-обогатительное предприятие производительностью более 100 тыс. т руды по выпуску концентрата с содержанием 12% BeO при извлечении 80–90% в количестве 2,5 тыс. т в год. Разработка месторождения производится открытым способом. В качестве побочных продуктов получаются полевой шпат и слюда.

В США крупным непегматитовым месторождением бериллиевого сырья является *Редскин-Шток* в штате Колорадо, основной промышленной рудой которого служит мусковитовый грейзен, содержащий бертрандит, берилл, эвклаз, флюорит и иногда топаз. Грейзены слагают трубы, линзы и неправильные тела, в которых бериллиевые минералы либо рассеяны, либо образуют жилоподобные зоны в центральных частях рудных тел. Бериллиеносные грейзены концентритуются внутри гранитного штока Редскин, абсолютный возраст которого определен в 1000 млн. лет. Наиболее интенсивно грейзенизирована южная оконечность купола, где грейзены ассоциируют с гранит-аплитами. Общие запасы BeO в бертрандитовых рудах Колорадо оцениваются в 50 тыс. т.

К докембрийским, вероятно, относится выявленное в последнее время в Канаде месторождение *Сил-Лейк*, рудная минерализация которого представлена двумя типами: обогащенными бариллитом прожилками, секущими фенитизированные гнейсы, и рассеянными зернами бариллита в этих гнейсах.

Помимо известных промышленных концентраций тантала и ниобия в месторождениях редкометалльных гранитов в последнем двадцатилетии выявлены крупные ресурсы ниобия (96% общих ресурсов зарубежных стран) и в меньшей мере тантала в месторождениях нового,

сравнительно широко распространенного типа, представленных карбонатитами, т. е. существенно карбонатными породами, которые пространственно и генетически связаны с комплексом ультраосновных – щелочных пород. Среди многочисленных месторождений карбонатитов, в которых основным полезным компонентом является ниобий, встречаются несколько крупных массивов карбонатитов, представленных гатчеттолитовыми рудами со средним содержанием 0,012–0,030% Ta_2O_5 и запасами от 3 до 10 тыс. т Ta_2O_5. Определены также промышленные концентрации ниобия и тантала, связанные с колумбитовыми гранитами и альбитизированными субщелочными гранитоидами. Из них наибольший практический интерес представляют рибекитовые и рибекит-циннвальдитовые микроклин-альбитовые граниты с колумбитом и танталпирохлором. Запасы Ta_2O_5 в подобных месторождениях исчисляются многими десятками тысяч тонн при среднем содержании его 0,03–0,05%.

Важным источником получения тантала в капиталистических и развивающихся странах продолжают оставаться богатые собственно танталовые руды редкометалльных пегматитов и грейзенов, связанных с кислыми гранитами, а также развитые на них коры выветривания и соответствующие россыпи (Канада, Бразилия, Мозамбик и др.); их доля в зарубежном производстве тантала в 1978 г. составила 43% (460 т). Эксплуатируются руды с соотношением Ta_2O_5/Nb_2O_5 не ниже 1 : 1, что позволяет получать концентраты собственно танталовых минералов с содержанием Ta_2O_5 45–60%. Концентраты, получаемые из руд с соотношением Ta_2O_5/Nb_2O_5-1:2,5, перерабатываются на феррониобий-танталовые сплавы, а руды с соотношением от 1:8 до 1:10 вообще не принимаются во внимание.

Кроме того, новым источником тантала за рубежом стали отвальные шлаки оловоплавильных заводов, базирующихся на сырье Малайзии, Таиланда, Индонезии, Заира; их доля в зарубежном производстве тантала возросла за последние десятилетия с 5 до 53% (570 т в 1978 г.). В богатых шлаках содержание Ta_2O_5 варьирует в пределах 4–13%; в бедных – 2,5–3%.

Карбонатиты

Большая часть известных месторождений карбонатитов пространственно связана с метаморфическими породами докембрия, но лишь немногие из них могут быть и сами с уверенностью отнесены к докембрийскому возрасту. Предположительно к докембрию относится месторождение *Сёв* в Норвегии, сложенное комплексом разнообразных щелочных пород (фенитов, уртитов, ийолитов и др.) и ассоциирующих с ними карбонатитов. Кроме основного карбонатитового массива площадью около 2 км² встречаются отдельные жилы и дайки карбонатитов длиной более 300 м при мощности до 30 м. Наиболее широко развиты карбонатиты, сложенные в основном кальцитом, при переменном количестве доломита и анкерита, которые здесь называют сёвитами. В другой, менее распространенной разновидности карбонатитов – раухауги-

тах среди карбонатных минералов преобладают анкерит и доломит и в отличие от сёвитов отсутствуют пирохлор и манганофиллит. Встречается также карбонатная порода редберг с характерной красноватой окраской, обусловленной замещением карбонатов гематитом. Абсолютный возраст карбонатитов определен в 560–570 млн. лет.

Основной рудой является сёвит, который помимо названных карбонатов содержит в заметных количествах пирохлор (копиит), колумбит, магнетит, фторапатит, манганофиллит, флогопит, тремолит, щелочные амфиболы, цоизит, пирит и в качестве небольшой примеси – флюорит и барит. С 1953 по 1965 г. эксплуатировались два участка с суммарной годовой добычей около 400 тыс.т руды, содержащей кальцит (80%), апатит (7%), пирит (1%) и пирохлор (около 0,5%, годовое производство его концентратов составляло *150–300* т.). Запасы руд оцениваются в 60 млн. т при содержании в них Nb_2O_5 0,2–0,5%. Предприятие было закрыто как неконкурентоспособное по сравнению с канадскими и бразильскими.

Сходные по минеральному составу карбонатиты известны в Щ в е ц и и, где они слагают значительные площади на о-ве Альнё, соседних с ним осторовах, а также, вероятно, под водами залива. Основной породообразующий минерал карбонатитов – кальцит, содержание которого колеблется от 40 до 96%. В переменных количествах присутствуют апатит – до 15%, биотит – до 15% и пироксен – до 20%. В небольших количествах встречаются оливин, обычно нацело серпентинизированный, титаномагнетит, редко меланит. Кнопит и пирохлор развиты только в отдельных разновидностях карбонатитов. Возраст их определен в 550 млн. лет. Сведения о содержании ниобия и его запасах отсутствуют.

Ряд крупных месторождений карбонатитов открыт за последнее время в К а н а д е, в провинциях Квебек (*Ока* и *Сент-Оноре*) и Онтарио (*Джеймс-Бей* и *Уэст-Бей*).

В районе Ока карбонатиты генетически связаны с щелочными породами (окаитом и ийолитом), интрудировавшими мраморы; они представляют собой комплексные руды и содержат ниобий, тантал и уран. Здесь выделяются четыре типа ниобийсодержащих пород: 1) мрамор, интенсивно минерализованный, с форстеритом, щелочным пироксеном, биотитом, апатитом, магнетитом и пирротином; 2) окаит-мелилитовая порода с нефелином, магнетитом, перовскитом, биотитом, везувианом и кальцитом; 3) измененная ийолит-нефелин-пироксеновая порода с томсонитом, натролитом, везувианом, магнетитом, перовскитом, биотитом и альбитом; 4) апатит-кальцит-биотитовая порода. Общие запасы металла оцениваются в 5,5 тыс. т, при среднем содержании в рудах ниобия 0,245%. В заметных количествах (до 0,3%) карбонатиты содержат цериевые земли. В конце 1961 г. началась эксплуатация месторождения. Применяемый процесс обогащения руд позволяет извлекать ниобий не только из пирохлора, но также из перовскита, бетафита и николаита. Концентраты содержат от 50 до 80% Nb_2O_5.

Разработка месторождения до 1967 г. производилась открытым способом, затем добыча руд продолжалась подземным способом. В

1975 г. добыча достигла 2,5 тыс. т в сутки, но в 1976 г. она полностью прекратилась, так как предприятие уже не смогло выдержать конкуренцию с продукцией, выпускаемой на вновь созданном предприятии в провинции Сент-Оноре и в Бразилии.

Общие запасы месторождения Сент-Оноре составляют 100 млн. т руды при среднем содержании Nb_2O_5 0,35%. Вероятные и возможные запасы руды оцениваются в 39 млн. т. Разработка его производится подземным способом и было рассчитана на суточную добычу 1360 т руды, содержащей 0,72% Nb_2O_5, переработка которого должна обеспечить выпуск в год 4,15–4,30 тыс. т концентрата с 58–60% Nb_2O_5. В 1978 г. добыто 560 тыс. т руды и получено 2,6 тыс. т Nb_2O_5 при извлечении 65,9%.

Запасы месторождения карбонатитовых руд *Джеймс-Бей* оценены в 60 млн. т при среднем содержании 0,52% Nb_2O_5. Сравнительно небольшим представляется месторождение *Уэст-Бей,* запасы руд которого составляют только 3,3 млн. т при среднем содержании 0,63% Nb_2O_5.

Прочие месторождения ниобия и тантала

В Нигерии, занимавшей до середины 60-х годов первое место среди зарубежных стран по добыче ниобия и тантала, основными источниками производства концентратов этих металлов являлись кора выветривания касситерит- и колумбитсодержащих биотитовых гранитов плато Джос (Баучи) и оловоносных россыпей, образованных за счет разрушения этих гранитов, а также пегматитов и грейзенов. В гранитах среднее содержание колумбита, проявленного в форме равномерной вкрапленности мелких удлиненно-призматических кристаллов, составляет 0,01%, в коре их выветривания оно колеблется от 60 до 600 г/м^3. Соотношение Nb/Ta составляет примерно 7:1. Общие ресурсы ниобия оцениваются в 70–100 тыс. т.

В 1965 г. выпуск колумбитового концентрата достиг 2590 т или 40% общего его производства в капиталистических и развивающихся странах. Позднее его производство неизменно снижалось и в 1978 г. составило 860 т – только 3% общего производства. Производство тантала в последнее время не превышает 10 т.

В Нигерии известны также пирохлорсодержащие щелочные граниты. В долине Каффо они содержат в среднем 0,18% Nb_2O_5, около 0,02–0,03% Ta_2O_5, 0,012% U_3O_8 и 0,03% ThO_2. Запасы Nb_2O_5 до глубины 150 м оцениваются в 80 тыс. т, но рентабельные методы извлечения из руд пирохлора не разработаны.

Запасы Nb_2O_5 плато Джос ориентировочно оцениваются в 100–150 тыс. т, а долины Каффо в 360 тыс. т. Запасы тантала в стране, по оценке Горного бюро США, составляют 72,6 тыс. т.

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Почти во всех районах развития архейских пород широко распространены пегматиты, обогащенные редкоземельными элементами (TR)*, которые иногда ассоциируют с минералами, содержащими уран, тантал и ниобий. Наиболее распространенными минералами, содержащими редкоземельные элементы, являются ортит, кейльгаутит, титанит, монацит, ксенотим; реже встречаются гадолинит, таленит и др. В зависимости от минерального состава выделяются четыре подтипа редкоземельных пегматитов: монацитовый, ортитовый, ксенотим-циртолит-уранинитовый и титано-тантало-ниобатовый. Все они рассматриваются как разновидности пегматитов, возникшие на глубинах свыше 8–9 км. В практическом отношении редкоземельные пегматиты представляют небольшой интерес и могут разрабатываться рентабельно только при комплексном использовании керамического сырья, слюды и редкоземельных элементов. *В результате их разрушения иногда образуются россыпи с промышленной концентрацией монацита* и редкоземельных элементов.

В С Ш А к докембрийскому возрасту относится одно из крупнейших в мире месторождений редкоземельных элементов *Маунтин-Пасс*, открытое в 1949 г. в Калифорнии. Район месторождения сложен комплексом докембрийских метаморфических пород, среди которых выделяются интрузивные штокообразные массивы сиенитового, сиенит-шонкинитового и гранитного состава. Метаморфические и интрузивные породы, особенно сиенит-шонкиниты, рассекаются многочисленными (около 200) карбонатными жилами; кроме того, шток карбонатитов площадью 230 х 80 м обнажается среди гнейсов.

В зависимости от основного породообразующего минерала выделяются кальцитовые, доломитовые и анкеритовые разности пород. Среднее содержание в них карбонатов – около 60 %. Помимо карбонатов, породы обычно содержат в среднем 20% барита и целестина, 10% редкоземельных фторкарбонатов и 10% силикатов. Редкоземельные минералы представлены преимущественно бастнезитом и в меньшей степени паризитом, монацитом, ортитом, церитом и сахамалитом. Содержание бастнезита в карбонатитах иногда достигает 60%. В карбонатитах в качестве незначительной примеси встречаются флогопит, биотит, мусковит, эгирин, крокидолит, хлорит, сфен, магнетит, апатит, торит, стронцианит, гематит, галенит, пирит, халькопирит, тетраэдрит и гипергенные минералы – малахит, азурит, церуссит, арагонит и вульфенит.

Абсолютный возраст карбонатитов, определенный по заключенному в них монациту, оказался равным 900–1000 млн. лет. Определения по циркону из шонкинитов показали 800–900 млн. лет.

---

*Лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций и иттрий.

Рудные тела прослеживаются в виде пояса длиной около 10 км и шириной 2,5 км. Общие их запасы составляют около 100 млн. т при среднем содержании в них TR_2O_3 5%, а в разрабатываемых участках – 8–10%. Годовая производительность горно-обогатительного комбината составляет примерно 45 тыс. т концентрата с содержанием TR_2O_3 60%.

В метаморфизованных конгломератах *Блайнд-Ривер* в Канаде насчитывается 1,2 млн. т TR_2O_3 (при среднем содержании в руде 0,1%), связанного в основном с браннеритом и монацитом. Около 100 тыс. т TR_2O_3 заключено в докембрийских месторождениях страны при среднем содержании 0,3%.

В 250 тыс. т оцениваются запасы редкоземельных элементов месторождения карбонатитов *Палабора* в ЮАР, в котором основным полезным компонентом является медь.

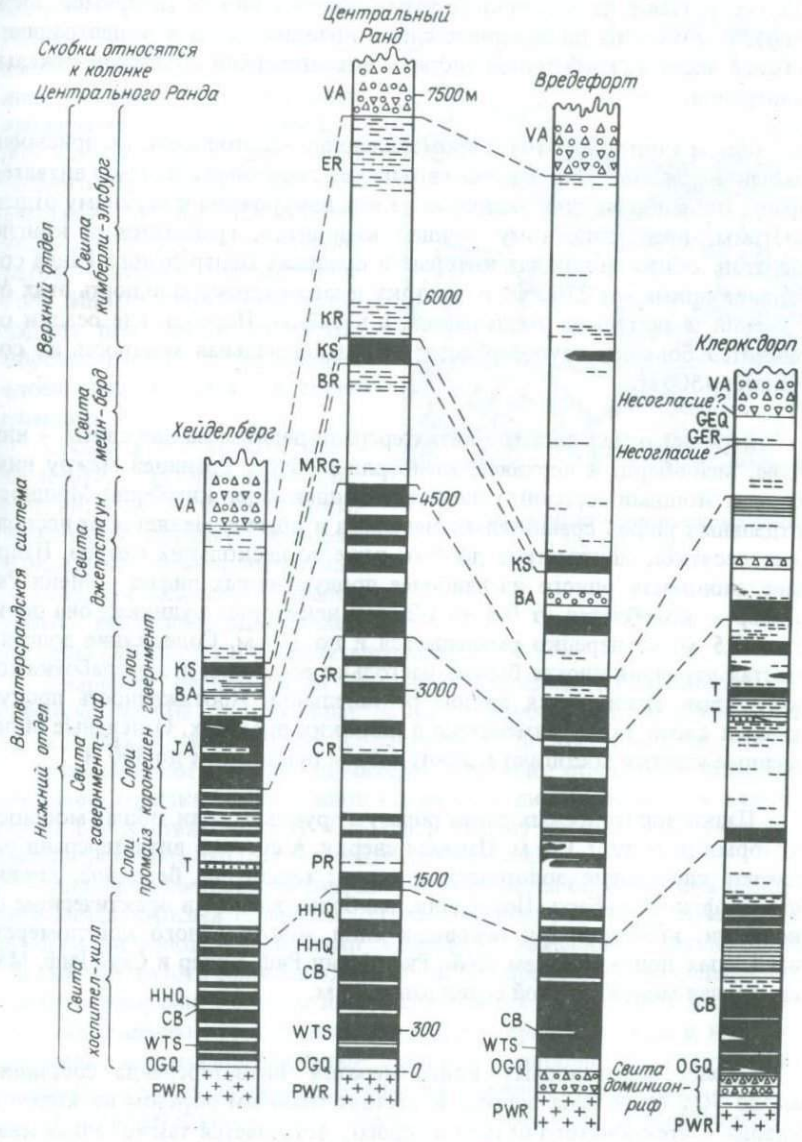
ЗОЛОТО

Выдающееся место в мире по ресурсам и добыче золота принадлежит ЮАР, где расположен издавна пользующийся мировой известностью золотоносный район *Витватерсранд* (Южный Трансвааль) и позднее выявлены новые богатые источники золота в Оранжевой провинции. В пределах всей этой обширной провинции, площадь которой достигает 35 тыс. км², оруденение связано с конгломератами и отчасти с кварцитами системы витватерсранд (нижний протерозой), сложенной нормальными осадочными породами (рис. 33). В Трансваале отложения системы витватерсранд несогласно залегают на архейских кристаллических сланцах, гранитах и гранито-гнейсах и представлены плотными сланцами, кварцитами и конгломератами общей мощностью около 7800 м, слагающими синклинальную складку протяженностью 190 км и шириной 70 км. Перекрываются они вулканическими и осадочными породами системы вентерсдорп также докембрийского возраста, а подстилаются отложениями свиты доминион-риф.

Осадочные породы системы витватерсранд пересечены дайками различного состава, а также многочисленными кварцевыми жилами. Последние развиты как по слоистости, так и вкрест ее.

Рис. 33. Нормальные разрезы системы витватерсранда *(по А. Дю Тойту)*:

RWR – породы основания; OGQ – кварциты орандж-гров; WTS – сланцы уотертауер; CB – контортед-бед (смятый слой); HHQ – кварциты свиты хоспител-хилл; PR – риф Промайз; GR – риф Коронешен; T – тиллит; GR – риф Гавернмет; JA – мандельштейны джеппстаун; MRG – группа Мейн Риф; BA – мандельштейн берд; BR – рифы Берд; KS – сланцы Кимберли; KR – рифы Кимберли; ER – рифы Элсбург; GER – риф Голд-Истейт; GEQ – кварцит голд-истейт; VA – вентерсдорпские мандельштейны


Скобки относятся к колонке Центрального Ранда
Центральный Ранд
Хейдельберг
Вредефорт
Клерксдорп
Витватерсрандская система
Верхний отдел
Нижний отдел
Свита кимберли-элсбург
Свита мейн-дерв
Свита джеппстаун
Свита гавернмент-риф
Свита хоспител-хилл
Слои гавернмент
Слои коронейшен
Слои промгиз
VA
ER
KR
KS
BR
MRG
GR
CR
PR
HHQ
CB
WTS
OGQ
PWR
BA
JA
T
7500 м
6000
4500
3000
1500
300
0
Несогласие?
Несогласие
GEQ
GER
Свита доминион-риф

Происхождение конгломератов точно не установлено. Одни исследователи рассматривают их как погребенные галечниковые побережья, постепенно продвигавшиеся внутрь страны по мере погружения района. Другие считают их частично речными образованиями (например, Мейн Риф), ссылаясь на достоверные следы древних русел и коцентрацию в нижней части каждой толщи системы витватерсранд обломков тяжелых минералов.

Слоям конгломератов с промышленной золотоносностью присвоено название „рифов". Они залегают во многих горизонтах системы витватерсранд, но наиболее продуктивные из них приурочены к верхнему отделу системы, представленному толщей кварцитов, гравелитов и конгломератов, общая мощность которых в пределах Центрального Ранда составляет примерно 2700 м. К востоку и юго-востоку мощность этих отложений значительно уменьшается, а в районе Парейса, где осадки отличаются большей грубозернистостью, максимальная мощность их составляет 4500 м.

Верхний отдел системы витватерсранд делится на две свиты – нижнюю, мейн-берд, и верхнюю, кимберли-элсбург. Границей между ними служит мощный горизонт глинистых сланцев серии кимберли. Мощность отдельных рифов сравнительно невелика и обычно меняется от нескольких десятков сантиметров до 1 м, реже до нескольких метров. Например, мощность одного из наиболее продуктивных рифов – Мейн Риф Лидер – колеблется от 0,6 до 1,2 м. В некоторых рудниках она достигает 7,5 м, но нередко уменьшается и до 10 см. Содержание золота в местах утонения иногда бывает настолько высоким, что разработка тонкого слоя оказывается вполне рентабельной. Протяженность продуктивных слоев также изменяется в широких пределах. Отдельные обогащенные участки достигают в длину 1,5 км при ширине до 300 м.

Пачки золотоносных слоев образуют рудные серии, общая мощность которых достигает 150 м. Начиная сверху, в системе витватерсранд различают следующие золотоносные серии: кимберли, берд-риф, ливингстон-риф и мейн-берд. Последняя, наиболее важная в практическом отношении, включает три основных слоя золотоносного конгломерата, известных под названием Мейн Риф, Мейн Риф Лидер и Саус Риф. Максимальная мощность этой серии равна 75 м.

Галька золотоносных конгломератов Витватерсранда составляет около 70% от объема породы и состоит главным образом из жильного кварца – стекловатого белого и серого; встречается также галька кварцитов, черных и зеленых полосчатых кремней, красных яшм, кварцевых порфиров и реже турмалинизированных пород и зеленых сланцев. Галька обычно мелкая (рис. 34), но иногда достигает в длину 10 см, а на

некоторых участках даже 20 см. Крупная галька хорошо окатана или слегка угловата, самая мелкая – заметно угловата. Галька заключена в песчанистом материале, сцементированном кремнеземом. Местами наблюдается широкое проявление кальцитизации, вплоть до полного замещения отдельных участков. Характерная особенность золотоносных конгломератов – наличие углистых прослоев. Иногда конгломераты обладают полосчатой текстурой, обусловленной чередованием слоев мелкой гальки и слоев кварцита.

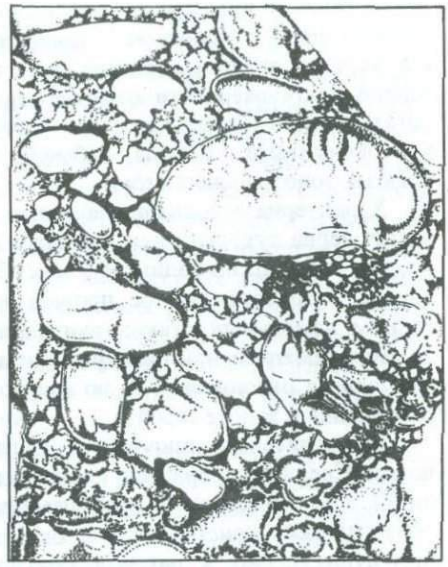


Рис. 34. **Конгломерат витватерсранд. 4/5 нат. вел.**

Кроме золотоносных конгломератов система витватерсранд включает полосчате пиритизированные кварциты, которые в ряде мест также золотоносны. Иногда они отличаются сравнительно высоким содержанием металла (до 28 г/т) и разрабатываются.

Кварциты представлены темными плотными разновидностями и образуют весьма протяженные линзы, мощность которых изменяется от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Высокое содержание золота обычно характерно для более мощных пиритоносных прослоев (однако значительное количество пирита не всегда влечет за собой присутствие золота). По минеральному составу и структуре эти кварциты весьма сходны с цементом конгломератов.

Многие исследователи считают, что кварциты образовались в результате метаморфизма слоистых „черных песков", местами обогащенных россыпным золотом и зернами железистых минералов. Другие предполагают, что золото приносилось в пористые прослои песка сульфидоносными растворами. Нередко золото содержится в кварцевых жилах, секущих обогащенные участки конгломератов, причем иногда в них сосредоточены чрезвычайно богатые скопления металла. В этих же жилах встречаются тальк, турмалин, эпидот и различные сульфиды.

В конгломератах золото обычно приурочено к пиритизированным участкам цемента, где оно чаще всего образует тончайшие, не различимые невооруженным глазом зерна и пленки. Во многих местах отмечается проникновение тончайших прожилков металла по трещинам квар-

цевых галек. В пределах рудоносных слоев золото распределено в общем неравномерно и чаще всего сконцентрировано у основания слоя или у его верхней границы. Многие исследователи в качестве весьма характерной закономерности отмечают приуроченность скоплений золота и богатых струй к участкам, сложенным более грубыми крупногалечными конгломератами. Иногда наблюдается веерообразное распределение богатых золотоносных струй.

Характерна ассоциация золота с тухолитом. Нередко золото пересекает зерна тухолита или нарастает на них, и на этом основании считают, что углерод, по-видимому, способствовал осаждению золота из растворов. Отмечается частое прорастание золота с сульфидами, но при тонком измельчении таких руд металл достаточно хорошо извлекается амальгамацией или цианированием. Золото всегда содержит серебро, примерно в отношении 9:1, но чем богаче золотоносный слой, тем ниже содержание в золоте серебра.

Исключительно широко в конгломератах проявлена пиритизация пород. Среднее содержание пирита в конгломератах составляет примерно 3%, а по отношению к массе цемента – около 12%. Скопления хорошо образованных кристаллов или округлых зерен пирита распространены преимущественно в цементе конгломерата, где они часто замещают кварц, но проникают они и внутрь галек. В значительно меньших количествах конгломераты содержат пирротин. Как в пирите, так и особенно в пирротине золото часто встречается в форме округлых или идиоморфных зерен.

Кроме указанных сульфидов, конгломераты содержат в небольших количествах марказит, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, арсенид кобальта и др. Реже встречаются хлорит, циркон, монацит, ксенотим, апатит, касситерит, рутил и хлоритоиды. В небольшом количестве из руд извлекают осмистый иридий и алмазы. Первый весьма широко распространен в пределах всего района, особенно в северной части. Содержание его в рудах невелико и обычно не превышает 3 г на 100 т руды. Зерна осмистого иридия хорошо окатаны и иногда ассоциируют с окатанными зернами хромита. Алмазы менее широко распространены и в заметных количествах встречены только на шести рудниках. Они представлены мелкими кристаллами обломочной формы, окрашенными в зеленоватые цвета. Считают, что окраска алмазов обусловлена радиоактивным воздействием.

Огромное экономическое значение имеет урановая минерализация, широко проявленная в конгломератах и кварцитах Витватерсранда. Наиболее распространенный минерал – уранинит; встречается настуран, а также тухолит, представляющий собой смесь уранинита и углеводородистого вещества. Содержание U_3O_8 колеблется от 0,006 до 0,06% и в среднем составляет около 0,033%.

Докембрийский возраст оруденения достаточно определенно подтверждается тем, что золотоносные валуны иногда встречаются в вентерсдорпском конгломерате. Абсолютный возраст кварцитов и конгломератов Витватерсранда, по последним данным, определяется в 2000 млн. лет.

Вопрос о генезисе золотого и уранового оруденения Витватерсранда остается спорным. Одни исследователи считают минерализацию эпигенетической и полагают, что она обусловлена гидротермальными растворами, связанными с Бушвелдским комплексом гранитов, метаморфизовавшими конгломераты и отложившими золото, уран, пирит и другие сульфиды. Другие связывают золотоносность с первичным накоплением золота в аллювиальных или морских россыпях. Существует также осадочная теория, которая предполагает, что пирит и золото химически осаждались из воды, в которой происходило накопление осадков. Большинство исследователей, особенно местные геологи, придерживаются россыпной теории образования золота и уранинита и рассматривают эти месторождения как древние россыпи, измененные последующим метаморфизмом и гидротермальным воздействием. Согласно этой теории, золото было вынесено из жил и золотоносных пород архея и механически переотложено в россыпи.

Урановая смоляная руда попала в конгломерат в виде гальки, которая со временем значительно или полностью разрушалась. Последующее погружение слоев, огромное давление вышележащих осадков, мощность которых достигала 16 км, и связанное с этим возрастание температуры, а также циркуляция подземных вод и радиоактивность обусловили изменение, растворение и разрушение заключенных в них минералов, образование новых минеральных комплексов, их перераспределение и перемещение. Существует мнение, что перекристаллизация руд произошла в начале мезозойской эры, когда образования витватерсранда были захоронены под мощными отложениями и в связи с этим создались условия, которые способствовали переотложению подавляющей части золота и уранинита, образованию галенита, сфалерита, халькопирита, скуттерудита, линнеита, развитию процессов окремнения, серицитизации и хлоритизации.

Гидротермальное происхождение, несомненно, имеют кварцевые жилы, секущие конгломератовые пласты, но на основании приуроченности жильных участков с наиболее высоким содержанием золота к золотоносным пластам они считаются пострудными, а золото – заимствованным из вмещающих руд. Пострудными считаются и многочисленные дайки, секущие отложения витватерсранд.

Сторонники эпигенетической теории полагают, что оруденение обусловлено гидротермальными растворами. Эти растворы проникали преимущественно в галечниковые слои, которые в то время были лишь частично сцементированы и более доступны, чем окружающие кварциты. К тому же в конгломератах содержалось некоторое количество осаждающих веществ, таких, как углеродистое вещество и пирит.

В пределах обширной золотоносной области Южной Африки известны отчетливые проявления верхнедокембрийской магматической деятельности с сопутствующей минерализацией, что, по мнению ряда исследователей, позволяет считать золотые месторождения Витватерсранда частью этого магматического цикла. Так, с гранитами Бушвелдского комплекса, расположенными к северу от площади распространения отложений витватерсрандской системы, связаны месторождения

золота и олова, а несколько восточнее этого комплекса к образованиям трансваальской системы приурочены типичные золотые месторождения гидротермального происхождения. Непосредственно в самом районе Витватерсранда распространены многочисленные более поздние дайки щелочного характера, с которыми могли быть связаны гидротермальные растворы.

В защиту гидротермальной теории оруденения Витватерсранда выдвигаются следующие положения: 1) широкое распространение пирита и наличие таких сульфидов, как пирротин, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, скуттерудит, линнеит, а также других минералов, характерных для месторождений гидротермального генезиса; 2) отсутствие в конгломератах тяжелых минералов („черного шлиха"), типичных для россыпей, тонкозернистость золота и отсутствие самородков; 3) ассоциация уранинита, неустойчивого и хорошо растворимого в поверхностных водах, с нерастворимым золотом; 4) ассоциация минералов с резко различными плотностями, например тухолита и карбурана с золотом; 5) чрезвычайно редкое присутствие уранинита в современных россыпях; 6) более высокое содержание урана по сравнению с торием, тогда как во всех известных аллювиальных россыпях (от кембрийских до современных) содержание тория неизменно бывает выше, чем урана; 7) увеличение содержания золота близ основных даек, внедрение которых, вероятно, предшествовало его образованию.

Оспаривая россыпной генезис минерализации, исследователи отмечают, что все системы докембрийских образований Витватерсранда (трансваальская, вентерсдорп, витватерсранд) и свита доминион-риф, обладающие одинаковой минерализацией, занимают возрастной интервал в 600 млн. лет, и трудно представить, какой источник мог в течение такого длительного периода поставлять материал для образования золотого и уранового оруденения.

Некоторые исследователи считают, что ни россыпная, ни гидротермальная теория не дают удовлетворительного объяснения происхождения уранинита, и рассматривают эти месторождения как осадочно-метаморфические. Они полагают, что золото и уран были привнесены грунтовыми водами в конгломераты после формирования последних. Осаждению этих элементов способствовало органическое вещество.

Золото в Витватерсранде добывается с 1885 г., и за все время здесь добыто около 35 тыс. т металла при среднем его содержании в рудах примерно 9 г/т. Максимальное производство золота в стране (1000,4 т) было достигнуто в 1970 г., затем стало постепенно снижаться и в 1980 г. составило 675 т. В суммарном производстве золота в капиталистических и развивающихся странах доля ЮАР за эти годы снизилась с 85 до 61%. Глубина разработок местами достигает 3100 м. Поскольку в верхней части сульфидной зоны имело место заметное вторичное обогащение, по мере углубления выработок содержание золота уменьшается. Так, в первые годы эксплуатации содержание золота в добываемых рудах составляло в среднем 17–18 г/т, а за последнее время оно снизилось до 6,5–7,0 г/т. В 1979 г. по отдельным рудникам содержание золо-

та в добываемых рудах колебалось от 3,4 до 19,8 г/т. Одновременно с золотом из руд извлекается уран – до 6000 т в год, что составляет почти 15% добычи урана в капиталистическом мире. В ряде мест в связи с низким содержанием золота конгломераты разрабатываются только на уран.

Считают, что промышленная золотоносность в отложениях Витватерсранда распространяется до глубины 3500 м и что повышение температуры с глубиной при наличии мощной искусственной вентиляции не будет служить препятствием для продолжения добычи золота на большей глубине.

В пределах Оранжевой провинции золотоносные образования системы витватерсранд также занимают значительную площадь; буровыми скважинами рудная минерализация уже установлена на площади, превышающей 15 тыс км². Золотоносные конгломераты редко обнажаются на поверхности и обычно залегают на глубинах от 300 до 1500 м, а иногда и более (рис. 35). На эксплуатируемых участках руды оказались более богатыми, чем в основных районах Витватерсранда; среднее содержание золота в них составляет около 8,5 г/т. Основным золотоносным горизонтом здесь является Базальный риф.

Данные о запасах золота в ЮАР не публикуются. По оценке Горного бюро США, на начало 1980 г. они составляли 21,0 тыс. т, а запасы урана, рентабельные для отработки при цене не более 78 долл. за 1 кг, 247 тыс. т при среднем его содержании в руде 0,02–0,04%.

Определенные черты сходства с месторождениями Витватерсранда обнаруживают золоторудные месторождения Г а н ы. Оруденение, установленное на площади около 100 тыс. км², приурочено к метаморфизованным породам бирримской серии и проявляется преимущественно в конгломератах.

Разрабатываются в основном месторождения, представленные кварцевыми жилами, залегающими среди докембрийских гранитов и метаморфических пород. По масштабу оруденения и качеству руд особенно выделялось месторождение *Аманти*, запасы которого оценивались в 2,6 млн. т руды, содержащей золота в среднем 26,2 г/т. Протяженность отдельных жил по простиранию достигает 3,3 км про мощности 1,5–6,0 м. В 1964 г. глубина шахт достигла 1328 м, добыто 14 663 кг золота, или 55% общей добычи его в стране. В 1968 г. производство золота составило 18 660 кг при содержании его в руде 11,23 г/т. Разрабатывается ряд других жильных месторождений с менее богатыми рудами. На месторождении *Престеа* в добываемых рудах содержание золота составляло 7,2–8,4 г/т, а годовая добыча его – около 2,6 т. Примерно 1,8 т золота добывалось из метаморфизованных докембрийских россыпей месторождения *Тарква*, содержащих в среднем 6,1 г/т.

С учетом сравнительно небольшого количества золота, извлекаемого из россыпей, общее производство его в Гане снизилось с 16,9 т в 1977 г. до 12,8 т в 1980 г. С 1471 г. в стране добыто более 1600 т золота.

Золотокварцевые высокотемпературные гидротермальные жилы,

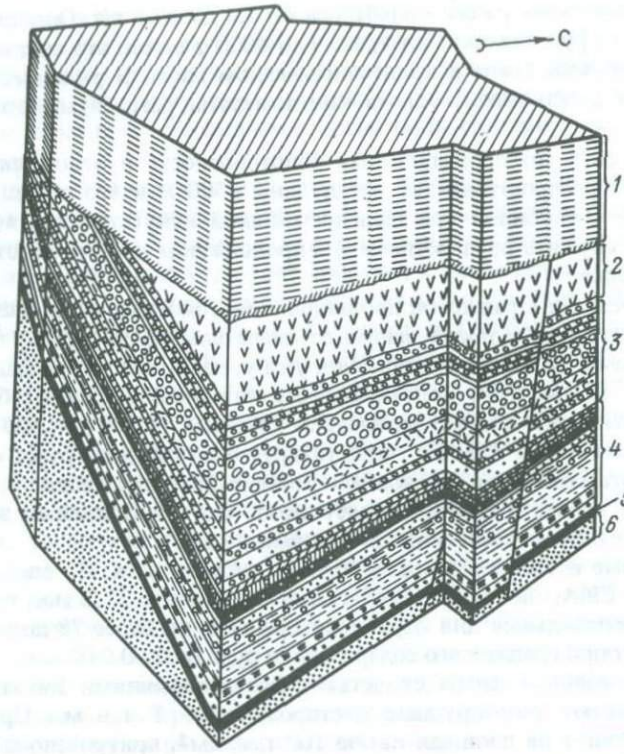


Рис. 35. Идеализированный геологический разрез месторождения Рекорд:
1 – отложения системы карру; *2* – вулканогенные образования системы вентерсдорп; *3* – отложения системы вентерсдорп; *4* – отложения системы витватерсранд; *5* – базальный риф; *6* – кварциты

связанные с гранитоидами архея и протерозоя, пользуются широким распространением во многих районах мира.

В Африке промышленные месторождения этого типа известны в Зимбабве, Заире, Танзании и других странах. Отдельные месторождения обычно не отличаются большими масштабами, но группы таких месторождений часто образуют крупные золотоносные районы. В этих районах наряду с золото-кварцевыми жилами развиты одновозрастные месторождения других генетических и морфологических типов.

В Зимбабве промышленная золотоносность подобного типа приурочена к широкому поясу, прослеженному по простиранию на 400 км. Здесь, кроме трещинных и пластовых жил, широко развиты жилоподобные, часто весьма мощные тела замещения или импрeньяции, приуроченные к зонам дробления в гнейсах и различных метаморфических сланцах, нередко вблизи выходов архейских гранитоидов.Золоторудные месторождения в прошлом интенсивно эксплуатировались. Здесь действовало около 3500 рудников, и на некоторых из них глубина разработок достигала 1500 м. Среднее содержание золота в рудах колеблется от 5 до 25 г/т. С золотом обычно ассоциируют пирит, пирротин, арсе-

нопирит, антимонит, сфалерит, галенит. Попутно с золотом добывается в небольшом количестве медь, изредка вольфрам и серебро.

Максимальная добыча золота – около 29 т – была достигнута в 1916 г. и затем до 1978 г. сохранялась на уровне 16,0–18,7 т, после чего снизилась до 11,4 т в 1980 г.

Тесно связаны с гранитными интрузиями допротерозойского возраста многочисленные золоторудные месторождения Западной Австралии, где уже добыто около 1500 т золота. В наиболее крупном золоторудном районе *Калгурли* жилы и линзовидные рудные тела мощностью от 0,6 до 24 м залегают среди кристаллических сланцев, амфиболитов и гранито-гнейсов и, кроме кварца, содержат пирит, самородное золото, теллуриды золота (калаверит, петцит, креннерит и др.) и в небольшом количестве халькопирит, сфалерит, галенит, пираргирит, флюорит, карбонаты и др.

Значительная часть месторождений района выработана, и на многих рудниках глубина выработок превышает 1100 м. Наиболее крупное из них – месторождение *Грейт Боулдер*, руды которого содержали золота в среднем 9г/т. Месторождение давало 10–12% всего золота Австралии.

В последнее время в Калгурли разрабатываются небольшие месторождения, в рудах которых содержится золота 4,3–5,6 г/т. Суммарная добыча его на этих месторождениях снизилась с 5,9 т в 1972 г. до 4,3 т в 1978 г. Сравнительно крупное месторождение – *Теннант-Крик*, представленное докембрийскими золото-медными жилами и брекчированными зонами с висмутом. В разрабатываемых рудах содержание золота составляет в среднем 6,4–12,0 г/т, а годовая добыча металла – 4,3–5,5 т.

Извлекаемые запасы золота Австралии, заключенные в докембрийских золоторудных месторождениях, оцениваются в 720 т при среднем его содержании 6 г/т. Общее производство золота в стране в 1980 г. составило 17,3 т.

В Северной Америке, в пределах Канадского щита, крупные месторождения золота приурочены к породам серии киватин и генетически связаны с докембрийскими альгонкскими гранитами. В настоящее время Канада по запасам и добыче золота относится к числу ведущих стран мира. Месторождения золота здесь распространены весьма широко. Наиболее крупные из них расположены в провинции Онтарио, особенно в районах Поркьюпайн и озер Киркленд и Лардер.

Рудные тела месторождений *Поркьюпайн* представлены преимущественно короткими мощными жилами, расположенными вдоль зон скалывания. Кроме самородного золота и его теллуридов, они содержат пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит и шеелит. Запасы руд отдельных рудников составляют от 2,5 млн. до 4,0 млн. т при среднем содержании золота около 9 г/т. В районе озер Киркленд и Лардер рудные тела выражены крупными трещинными жилами, которые местами сопровождаются оруденелыми боковыми породами. Здесь среднее содержание золота в добываемых рудах также составляет примерно 9 г/т.

В последнее время заметно увеличились запасы золота провинции Онтарио преимущественно за счет выявления новых рудных тел в пределах полей разрабатываемых месторождений *Валь-д'Ор, Тимминс, Ред-*

Лейк и *Лардер-Лейк*. Содержание золота в рудах Ред-Лейк составляет в среднем 21–22 г/т, а годовая добыча его примерно 6 т, соответственно месторождения Лардер-Лейк 15 г/т и 4 т. Подготавливалось к разработке месторождение *Детур-Лейк с общими запасами в несколько* десятков миллионов тонн руды, содержащей не менее 6,5 г/т золота. Крупные запасы золота на севере провинции связываются с развитыми здесь ураноносными конгломератами, в которых прослежена зона с его содержанием до 10, 9 г/т при содержании U_3O_8 363 г/т.

Более богаты руды месторождения *Джайент-Йеллоунайф* и ряда других месторождений, расположенных вблизи восточного побережья Большого Невольничьего озера в Северо-Западных территориях; первоначально они содержали в среднем 22 г/т золота. Золотоносные кварцевые жилы с сульфидами и арсенидами приурочены к архейским осадочным и вулканическим породам. Запасы руд наиболее крупного рудника оценивались в 3,5 млн. т. В рудах месторождения *Брелорн* (Британская Колумбия), запасы которых составляют более 900 тыс. т, содержание золота колебалось от 5,7 до 16,4 г/т.

Значительная роль в общих запасах и добыче золота в Канаде принадлежит комплексным рудам других металлов также докембрийского возраста, из которых золото извлекается попутно. Так, сравнительно крупными источниками золота являются медноколчеданные руды месторождения Норанда, сульфидные медно-никелевые руды Садбери и других районов, полиметаллические руды провинции Манитоба.

Извлекаемые запасы золота Канады оцениваются в 2500 т, в том числе 1500 т в золоторудных месторождениях. В 1980 г. общее производство золота составило 49,3 т.

Ряд промышленных месторождений золота докембрийского возраста известен на территории С Ш А. Наиболее крупное и важное в практическом отношении – месторождение *Хомстейк*, расположенное в штате Южная Дакота. Рудные залежи приурочены к зоне смятия докембрийских доломитов, биотитовых сланцев и кварцитов и концентрируются в пласте куммингтонит-хлоритового сланца, преимущественно в сводах антиклинальных складок. Длина основной рудной зоны составляет 240 м при мощности 12–18 м. Золото сравнительно крупное и сопровождается сульфидами других металлов, из которых извлекается только серебро. Месторождение разрабатывалось с 1814 г. и до 70-х годов XX в. давало около 16–17 т золота в год. Разработки достигли глубины более 1,5 км, но запасы месторождения не истощены. За все время эксплуатации здесь добыто более 500 т золота, а оставшиеся на начало 1977 г. запасы металла составляют 101,6 т при среднем содержании 7,83 г/т золота. Извлекаемое содержание золота в разрабатываемых рудах снизилось с 9,78 г/т в 1971 г. до 6,62 г/т в 1979 г. За эти годы добыча золота уменьшилась с 15, 97 до 9,48 т в год.

В качестве характерной закономерности отмечают, что повышенным содержанием золота отличаются участки руд, наиболее богатые хлоритом.

Возраст месторождения Хомстейк достоверно не установлен. Возможно, что золотое оруденение генетически (в смысле общности магма-

тического очага) связано с развитыми в районе третичными дайками и пластовыми интрузиями риолита.

В Южной Америке многочисленные месторождения золота докембрийского возраста разрабатываются в Бразилии, особенно в штате Минас-Жерайс. Наиболее крупное из них – месторождение *Морро Вельо*. Основная рудная залежь его залегает согласно с углистыми сланцами серии минас. Длина рудной залежи составляет в среднем 150 м, но по падению она прослеживается более чем на 3200 м при средней мощности около 4,5 м. Среднее содержание золота в руде равно 11–15 г/т. Руды содержат в заметных количествах пирротин, арсенопирит, пирит, анкерит, встречаются халькопирит, вольфрамит и шеелит. Из нерудных минералов преобладает кварц, часто присутствует альбит и в меньшей мере хлорит. Месторождение разрабатывается с 1834 г. и за все время эксплуатации дало около 200 т золота. Глубина разработок достигла 2500 м.

В Бразилии известны также крупные концентрации золота в конгломератах типа витватерсранд, которые разрабатываются в штате Баия. На руднике *Канавиэйрас* среднее содержание золота в рудах составляет 12,8 г/т при среднем содержании U_3O_8 0,014%. Интенсивно разведуется аналогичное месторождение *Жакобина*.

Золоторудные проявления нередко промышленного значения установлены в итабиритах (железистых кварцитах), особенно вблизи их контакта с гранитами. Наиболее крупное месторождение – *Гонго-Сокко*, золотое оруденение которого приурочено к выветрелым разновидностям итабиритов – якутингам. За все время эксплуатации добыто 13 т золота. Разработки достигли в 1856 г. глубины 128 м и были прекращены в связи с обеднением руд и большими притоками воды.

Извлекаемые запасы золота Бразилии оцениваются в 800 т при среднем его содержании в рудах 4,5 г/т. В 1980 г. добыто 35 т золота.

Сравнительно редки промышленные месторождения золота докембрийского возраста в зарубежных странах Азии. Наибольший интерес представляют месторождения Индии, особенно золотоносный район *Колар* в штате Майсур. Район занимает площадь около 200 км² и сложен кварцитами и известняками, прорванными гранитными интрузиями докембрийского возраста. В пределах этой площади известен ряд рудных полей, представленных системой золотоносных кварцевых жил мощностью от 1–1,5 до 10 м. Содержание золота в рудах колеблется в широких пределах. В разрабатываемых жилах оно изменялось от 5 до 50 г/т, и, например в жиле „Чемпион", среднее содержание извлекаемого золота составляло 14–16 г/т. Отдельные шахты в этом районе имеют глубину свыше 3000 м. Рудные минералы представлены самородным золотом, теллуридами золота, местами шеелитом, магнетитом, ильменитом. Спорадически встречаются галенит, пирротин, пирит, арсенопирит, халькопирит, молибденит, пентландит, гессит или алтаит.

Общее годовое производство золота в Индии составляет примерно 3 т при среднем содержании его в руде 5,9 г/т.

Докембрийские месторождения золота известны в азиатской части СССР, особенно в пределах Сибирской платформы, где они связаны

преимущественно с кислыми гранитами протерозойского и отчасти архейского возраста. Здесь известны месторождения различных генетических типов, в том числе пиритизированные зоны, золотоносные кварцевые и кварц-сульфидные жилы.

В связи с золотым оруденением широко развиты зоны гидротермально измененных пород, в которых интенсивно проявились процессы анкеритизации, хлоритизации, пиритизации и окварцевания. В районах распространения докембрийских коренных золоторудных месторождений обычны аллювиальные золотоносные россыпи и встречаются золотоносные конгломераты.

ПЛАТИНОИДЫ

Промышленные месторождения платиноидов известны в немногих зарубежных странах. Наиболее значительные из них сосредоточены в ЮАР и Канаде и целиком относятся к докембрийскому возрасту.

Самые крупные в мире концентрации платиноидов связаны с докембрийскими ультраосновными породами сложнодифференцированного Бушвелдского интрузивного комплекса ЮАР, которые занимают в центральной части Трансвааля площадь более 115 тыс. км^2. Минерализация носит здесь региональный характер, проявляется почти повсеместно и весьма разнообразно. Вместе с платиной присутствуют палладий и другие платиноиды. Основные промышленные концентрации платиноидов связаны с четко ограниченными и выдержанными сульфидными медно-никелевыми пластообразными залежами в норитах.

Разрабатывается преимущественно Главный горизонт, или горизонт Меренского, который прослеживается на значительном протяжении – более 180 км – в районах Претории, Лиденбурга и Рюстенбурга. Главные породообразующие минералы – гиперстен и бронзит, в небольшом количестве присутствуют полевой шпат и вкрапленники диаллага. Обычно горизонт включает прослой хромита и всегда подстилается и перекрывается светлыми полевошпатовыми разностями норита и анортозита. Мощность горизонта Меренского подвержена значительным колебаниям; преобладают мощности от 80 см до нескольких метров, но иногда, например в Лиденбурге, мощность горизонта достигает 10,5 м.

Здесь установлен следующий порядок кристаллизации: силикаты, пирротин, графит, пентландит, халькопирит, кубанит и большинство платиноидов; за ними следуют сульфиды железа и никеля и арсениды платины, связанные с проявлениями пегматитовой и пневматолитовой фаз минерализации; в самом конце формирования руд произошли их гидротермальные изменения.

Содержание сульфидов обычно составляет около 2–3%. Платиноиды находятся в сульфидах в форме изоморфной примеси и частично в виде куперита, брэггита, ферроплатины и сперрилита. Содержание платиноидов в разрабатываемых участках обычно колеблется в пределах 5–9 г/т, реже оно превышает 15 г/т. Более высоким содержанием отличаются верхние окисленные горизонты. В добываемых рудах преоб-

ладает платина, составляющая 96–97,5% получаемых концентратов. В оставшейся части концентратов половина приходится на палладий, остальное – на иридий, осмий, рутений и родий.

Практический интерес представляют и другие формы проявления платинового оруденения. Так, в гортонолитовом дуните самородная платина в виде мелких кубических кристаллов и неправильных зерен образует различной густоты вкрапленность, и рудные залежи приобретают трубообразную форму (рис. 36). Диаметр таких залежей обычно не превышает 20 м, длина их по падению достигает 300 м. Содержание платины подвержено значительным колебаниям. В добываемых рудах оно достигало 30 г/т. В хромитовых рудах, образующих здесь „слои" мощностью до 2 м, платиноиды в тонкораспыленном виде заключены в силикатах. Содержание металла в рудах этого типа колеблется от 3,4 до 18,9 г/т.

Благоприятные перспективы для заметного увеличения добычи имеют исследования в районе рифа УГ-2, расположенного ниже рифа Меренского Западного Трансвааля (площадь Растенбург). Он представлен двумя хромитовыми слоями по 75–90 см с более тонкими прослоями между ними, содержит 45% хромита, немного меди и никеля и значительные, но несколько более низкие, чем в рифе Меренского, концентрации платины, но более высокие – родия. Минералы платиноидов концентрируются внутри этих тел или вблизи них вместе с сульфидами меди и никеля. Наличие оруденения подтверждено на глубинах от 15 до 180 м.

В ЮАР производство платиноидов в промышленных масштабах началось в 1924 г., а в 1980 г. оно достигло 105 т, из них 64,6 т платины. Общие запасы платиноидов ЮАР на начало 1980 г. оценивалось Горным бюро США в 18 тыс. т.

Ресурсы осмистого иридия оцениваются как весьма значительные. В сравнительно небольших количествах (около 200 кг в год) он извлекается также из золотоносных конгломератов Витватерсранда, где его содержание колеблется от 3 до 28 г на 1000 т поступающей на фабрику руды.

Относительно крупными ресурсами платиноидов (3100 т) обладает З и м б а б в е. Коренные месторождения приурочены к ультраос-

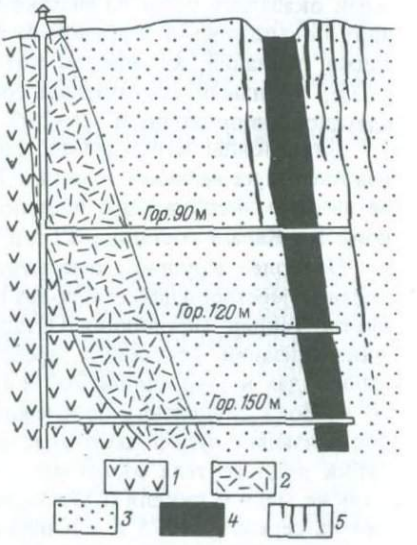


Рис. 36. Платиноносное трубообразное рудное тело Мойхук в Южной Африке *(по Ф. Вагнеру)*:

1 – нориты; *2* – пироксениты; *3* – оливиновые дуниты; *4* – рудное тело; *5* – дайки гортонолитового дунита

новным породам Великой дайки, близким по составу и возрасту к Бушвелдскому комплексу пород. Платиноиды содержатся в так называемом сульфидном слое, перекрытом полевошпатовым норитом. Этот слой распространен на большой площади и отличается сравнительно хорошей выдержанностью; мощность его в отдельных участках колеблется от 0,9–1,8 до 2,4–3 м. Платина заключена главным образом в тонкораспыленном сперрилите, и поэтому руды труднообогатимы.

Из других стран Африки запасами платиноидов располагает Ботсвана, где в конце 1973 г. сдано в эксплуатацию медно-никелевое месторождение Пикве-Селайб с запасами руды около 50 млн. т и содержанием Ni 0,15% и Cu 0,94%. Данных о содержании и извлечении платиноидов нет. По сообщению зарубежной печати, в Бурунди (Экваториальная Африка) в районе Мусонгати открыто месторождение медно-никелевых руд с высоким содержанием кобальта и платиноидов.

Запасы платиноидов Канады значительно уступают запасам ЮАР и определяются в 314 т. Эти запасы почти целиком заключены в сульфидных медно-никелевых рудах месторождений Садбери, откуда платиноиды извлекаются попутно с другими металлами. Платиноиды присутствуют в рудах в качестве изоморфной примеси в сульфидах меди, никеля и железа и в меньшей степени проявляются в виде сперрилита. Обычно содержание их в рудах колеблется от 0,1 до 1,5 г/т. Более богатыми оказались руды на участке Фруд, в которых содержание платиноидов повышалось с глубиной от 5 до 20 г/т. Среди платиноидов преобладает палладий, количество которого в концентрате составляет 50 – –65%; удельный вес платины составляет 35–48%, на долю остальных платиноидов приходится 1,2–2,0%.

Платиноиды в рудах Садбери были обнаружены еще в 1883 г., но извлечение их началось только в 1919 г. Особенно возросла добыча после ввода в эксплуатацию рудника Фруд. В 1980 г. производство платиноидов в Канаде составило 12 т, в том числе 5,3 т платины.

Наиболее крупным открытием последних лет является медно-никелевое месторождение Лак-дез-Иль, расположенное в 88 км севернее бухты Тандер (провинция Онтарио), открытое в 1974 г. Платиновая минерализация (сульфиды, арсениды и др.) установлена в архейских габброидах в зоне длиной 900 м и шириной 150 м при средней мощности 30 м. Зона оруденения прослеживается на 20 км. Минералы платиноидов связаны с сульфидами железа, меди, никеля. Содержания на 1 м углубки рудного тела составляют (в г/т): платиноидов 5,75, золота 0,62, а также меди и никеля 0,2%. Запасы благородных металлов месторождения на середину 1975 г. оценивались в 40 т. Незначительная мощность перекрывающих рыхлых отложений позволяет предпринять отработку его открытым способом.

Ресурсы платиноидов США оцениваются в 31 т. Большое значение имеет открытие в 1974 г. платиноносного горизонта в северной части притока р. Стиллуотер-Уэст-форк (штат Монтана). Платиновое оруденение приурочено к докембрийскому комплексу основных-ультраосновных пород, к верхней его части, представленной чередованием

норитов, габбро-норитов и анортозитов. Большой объем геологоразведочных работ позволил проследить рудоносный горизонт на 39 км при мощности 1,8–2,1 м. Он состоит из девяти более мелких горизонтов, имеющих в отдельных местах мощность лишь $^2/_3$ см, что позволяет считать его строение сходным в целом с рифом Меренского. Содержание платины и палладия составляет 14,7–22,3 г/т с отношением их, равным 1:(3–3,5) при сумме никеля и меди 0,15%. В пробах установлено также небольшое количество других платиноидов, золота и серебра. Производство платиноидов в основном обеспечивается за счет извлечения их из россыпей Аляски и комплексных руд золота и меди. В 1980 г. оно составило 187 кг, в том числе 89 кг платины.

В 1966 г. в Западной Австралии открыты месторождения сульфидно-никелевых руд (Камбалда, Виндерра, Непиан, Скотиа и др.), приуроченные главным образом к ультраосновным (реже основным) породам зеленокаменных поясов докембрийского щита (Йилгари). Средние содержания металлов в рудах составляют (в г/т): Pt 0,24–0,42, Pd 0,29–0,56, Ir 0,06, Au 0,11–0,36 при содержании Cu 0,15–0,28%, Ni 1,86–3,73 и Co 0,05–0,08%.

Содержание платиноидов возрастает пропорционально содержанию никеля, золото распределено неравномерно. Запасы их оцениваются в 250 т.

В 1971 г. платиновая минерализация установлена в районе Рудолл-Ривер в других серпентинитовых телах среди нижнепротерозойских метаморфических пород. В частности, в массиве Джейсон в четырех скважинах на глубинах 117,6–239,5 м содержание платины составляет 1,89–6,65 г/т.

Годовое производство платиноидов в Австралии составляет примерно 60–65 кг, в том числе 14–15 кг платины.

ФОСФОР

Подавляющая часть выявленных ресурсов фосфатного сырья зарубежных стран заключена в месторождениях фосфоритов последокембрийского возраста. Известные во многих странах докембрийские месторождения *апатита* имеют ничтожное значение как в общих запасах, так и в добыче фосфатного сырья, несмотря на исключительно широкое распространение этого минерала в магматических образованиях древних платформ и щитов. В качестве существенной примеси апатит постоянно присутствует в ультраосновных-щелочных породах, карбонатитах, габбро-анортозитах, титаномагнетитах и других разнообразных магматических породах. В Индии, например, среди широко распространенных комплексов этих пород в штате Раджастхан высоким содержанием апатита отличаются карбонатиты Невания, среди которых выделяются богатые руды (32–35% P_2O_5) и бедные руды (6–9% P_2O_5). Общие ресурсы P_2O_5 в карбонатитах этой провинции оцениваются до 2 млн. т.

В пределах Северо-Американской провинции США и Канады

большое развитие получили докембрийские габбро-анортозитовые комплексы, которые являются крупными источниками производства концентратов титана и магнетита, а в будущем, возможно, и апатита. Оруденение проявлено в форме мелковкрапленных зон, в которых апатит ассоциирует с минералами титана. Содержание его в рудах обычно не превышает 10%. В месторождении *Роузленд* (США) помимо мелковкрапленных зон в анортозитах выделяются также жилообразные и дайкообразные залежи, состоящие в основном из рутила и апатита или ильменита и апатита. Содержание в них апатита достигает 10–35%.

Общие запасы P_2O_5 в изученных массивах оцениваются примерно в 20 млн. т при среднем содержании от 2 до 10%. Крупные запасы апатита содержат месторождения карбонатитов этой провинции. По последней оценке, они превышают 30 млн. т. Основной полезный компонент – пирохлор, но попутно может рентабельно извлекаться и апатит, особенно из коры выветривания массивов, в которой содержание P_2O_5 достигает 20–30%.

В прошлом апатит в качестве попутного компонента извлекался из архейских флогопитсодержащих диопсидовых пород в Канаде. Аналогичные месторождения разрабатываются на Мадагаскаре. Руды этих месторождений служат источником производства товарного флогопита. Сведения о попутном извлечении апатита отсутствуют.

В пределах Балтийского щита значительные ресурсы апатита содержатся в докембрийских магнетитовых месторождениях Северной и Центральной Швеции, пространственно и генетически связанных с интрузиями сиенитов. Содержание апатита в рудах месторождения *Кирунавара* составляет 8–13%, в *Люоссавара* 10% и *Гелливаре* 4,5%. Рудная залежь наиболее крупного месторождения Кирунавара имеет линзообразную форму и протягивается на 5,8 км при мощности от 30 до 150 м. Апатит чаще всего концентрируется в зальбандах рудных залежей, образуя в них прожилки и шлировые выделения. Особенно богаты апатитом пегматитовые дайки, секущие рудные тела. Общие запасы апатита этих месторождений Северной Швеции составляют примерно 30 млн. т при среднем содержании P_2O_5 5,3%. Апатит также попутно добывается на железорудном месторождении Гренгесберг (Центральная Швеция). В небольших количествах апатит присутствует в титаномагнетитовых рудах месторождения Таберг.

Производство апатитового концентрата в период второй мировой войны достигло в Швеции 150 тыс. т, а в последнее время годовая добыча концентрата не превышает 80 т.

На острове Альне и смежных с ним островах Швеции апатитсодержащие карбонатиты слагают значительные площади. Они состоят в основном из кальцита (40–96%), пироксена (до20%), биотита (до15%) и апатита (до15%). Сведения о запасах апатита отсутствуют.

В заметных количествах фторапатит присутствует в ниобиевых карбонатитах месторождения *Сёв* в Норвегии, предположительно относимых к докембрийскому возрасту. Общие запасы апатита в месторождении, по-видимому, значительны. Ежегодно в прошлом здесь добы-

валось около 400 тыс. т руды, содержащей в среднем апатита 7%, пирита 1% и пирохлора 0,5%.

В Финляндии карбонатитовый комплекс Сиилинярви датируется возрастом 1785 ± 30 – 2530 ± 45 млн. лет. Разведанные здесь руды содержат в среднем около 10% апатита.

В пределах Африканского континента большое практическое значение в качестве источника фосфатного сырья приобрело карбонатитовое месторождение медных руд Палабора, расположенное в Трансваале (Ю А Р). Рудное тело представляет собой интрузивную трубку, сложенную пироксеном, фоскоритом, карбонатитом; фоскорит содержит 25% апатита. В 1980 г. здесь произведено 2,7 млн. т апатитового концентрата. В Трансваале известно другое месторождение апатита – Люлю-Коп, занимающее площадь около 1 км². Линзообразные тела апатитовых руд мощностью 1–2 м залегают в пироксенитах, с которыми они связаны постепенными переходами. Содержание P_2O_5 в рудах составляет в среднем 7–10%, но на отдельных участках встречаются руды более высокого качества – с содержанием P_2O_5 34–40,5%. Одни исследователи считают эти месторождения магматическими, другие – контактово-метаморфическими, образовавшимися в результате воздействия кислой магмы на известняки.

Сравнительно небольшое месторождение апатита *Зизи*, приуроченное к толще докембрийских биотит-амфиболовых гнейсов и мраморов, разведано в Танзании. Продуктивный пласт представлен мраморами, в которых содержание P_2O_5 колеблется от 4 до 10%. Он прослежен на протяжении 1000 м при мощности до 30 м и заключает 350–400 тыс. т P_2O_5. При обогащении получен концентрат с содержанием P_2O_5 25%.

В последнее время месторождения апатита докембрийского возраста выявлены в СССР. К ним относятся разведанное и подготавливаемое к эксплуатации *Ошурковское* месторождение в Забайкалье, представленное верхнепротерозойскими диоритами, в которых единственным полезным компонентом является апатит. Содержание его от 3–4 до 15–20%. Выделяются отдельные зоны гидротермально измененных пород, апатит-полевошпатовых пород или пород, приуроченных к полям развития даек лампрофиров, в которых содержание апатита достигает 40–50%.

Среднее содержание P_2O_5 в диоритах составляет около 4%. В отдельных участках протяженностью до 500–600 м при ширине 100–400 м содержание P_2O_5 повышается до 5–6%.

Месторождение характеризуется крупными размерами: протяженность рудного тела составляет 3,6 км, ширина от 200–400 до 1700 м. На глубину оно прослежено на 640 м от поверхности. Руды месторождения легко обогащаются флотацией, возможно получение концентрата с содержанием P_2O_5 35% при извлечении фосфорного ангидрида в концентрат 80–94%.

К докембрию относится также открытое в 1972 г. *Селигдарское* месторождение, расположенное в Центрально-Алданском районе Яку-

тии. По данным Ф. Л. Смирнова и В. А. Биланенко (1974 г.), оруденение в форме обильной вкрапленности апатита локализуется в карбонатных существенно доломитовых породах предположительно федоровской свиты архея. Содержание P_2O_5 в рудах колеблется от нескольких процентов до 27 % и составляет в среднем 6–7 %. Руды содержат мартит в пределах 5–10%. Прогнозные запасы изученных участков с учетом площади выхода продуктивного горизонта в 1 км² при подвеске на глубину 150 м оцениваются в 600–800 млн. т руды, большая часть которой пригодна для открытой разработки. По предварительным данным технологических исследований, при обогащении руд может быть получен апатитовый концентрат с содержанием P_2O_5 33–34% при извлечении 75%.

В верхнепротерозойских отложениях Западного Прибайкалья выявлены сравнительно небольшие месторождения пластовых фосфоритов морского происхождения. Пластовые кремнистые фосфориты обнаружены также в синийских отложениях западного склона Восточного Саяна.

Промышленные месторождения *фосфоритов* докембрийского возраста сосредоточены в К Н Р, где они приурочены к нижнепротерозойским и, главным образом, к синийским отложениям.

Ряд сравнительно небольших месторождений фосфоритов выявлен в И н д и и, в южной части Центрального Раджастхана, где они приурочены к доломитизированным известнякам и кварцитам серии аравалли докембрия. Наиболее крупным из них представляется месторождение *Джамер-Котра*, достоверные запасы которого составляют 40 млн. т, а вероятные оцениваются в 60 млн. т руды, содержащей 20,5–33% P_2O_5. Мощность продуктивного пласта достигает 11 м и более. Месторождение разрабатывается открытым способом. Годовая добыча достигла 70 тыс. т P_2O_5.

ФТОР

Промышленные месторождения плавикового шпата докембрийского возраста достоверно установлены только в Намибии. Открытым остается вопрос о возрасте месторождений плавикового шпата в ЮАР, не все известные в этой стране месторождения являются одновозрастными, но бóльшая часть из них, вероятно, относится к докембрию.

Многочисленные месторождения плавикового шпата, известные во многих районах Ю А Р, сосредоточены в основном в Трансваале и Капской провинции. В результате разведки этих месторождений общие запасы их руд на начало 1981 г. оцениваются в 200 млн. т (38% суммарных запасов капиталистических и развивающихся стран), а доказанные запасы достигли 140 млн. т (около 36%) при среднем содержании CaF_2 20%.

Основной прирост запасов получен за счет разведки месторождений низкосортных руд района Буффало в Трансваале, оцененных в

50 млн. т при среднем содержании плавикового шпата 22%. Месторождения представлены жилами и линзовидными или трубообразными метасоматическими залежами, залегающими в красных гранитах и других магматических образованиях докембрийского Бушвелдского комплекса. Издавна разрабатываемое месторождение *Буффало* состоит из серии сближенных крупных жил, содержащих в среднем около 40% CaF_2. Запасы его богатых руд оценивались в 4,5 млн. т.

Более крупным представляется месторождение *Звартклуф*, расположенное в Западном Трансваале. Его рудные тела пластообразной формы залегают в фельзитах Бушвелдского комплекса и приурочены к крутопадающему разлому. Длина их достигает 200 м, ширина 60 м; на глубину они прослежены до 700 м. Главные минералы – флюорит и анкерит, в виде примеси присутствуют халькопирит, пирит и сфалерит. Общие запасы плавиковошпатовой руды составляют 7 млн. т при среднем содержании CaF_2 13,7%. Полагают, что из этой руды можно будет получить около 1 млн. т товарного кондиционного по кислотности флюорита. На месторождении вступил в строй рудник проектной мощностью 50 тыс. т в год, в дальнейшем мощность его может быть удвоена.

Известные в Западном Трансваале месторождения высокосортных руд (85–90% CaF_2) в значительной мере истощены, и добыча ведется на небольших разобщенных участках. Разрабатываются главным образом неправильной формы метасоматические залежи в докембрийских доломитах, в которых содержание CaF_2 составляет 70–78%.

Месторождения района Кенард Капской провинции приурочены к зонам трещиноватости и брекчирования среди вмещающих серых и порфиробластовых гнейсов, амфиболитов. Зоны трещиноватости отличаются повышенным содержанием кварца и флюорита, наряду с которыми развиты галенит, пирит, агат, халцедон, кальцит. Мощность зон колеблется от нескольких сантиметров до 0,6–6 м, а их протяженность – от 4,8 до 8,0 км. Флюорит представлен белыми, розовыми и другими разностями.

В районе г. Кенард на южном берегу р. Оранжевой жила мощностью 1,2–1,5 м прослеживается более чем на 11 км; содержание в ней плавикового шпата около 80%.

Производство в ЮАР концентратов плавикового шпата преимущественно кислотного сорта в 1980 г. достигло 523 тыс. т. Их производство может быть заметно увеличено при улучшении конъюнктуры мирового рынка для кислотного сорта плавикового шпата. Суммарная мощность обогатительных фабрик района Буффало составляет 150 тыс. т.

В Намибии флюорит является весьма распространенным минералом и почти повсеместно встречается в месторождениях полиметаллических руд, причем иногда в значительных количествах. В частности, крупные запасы плавикового шпата (более 1 млн. т) заключены в полиметаллическом месторождении Цумеб, в рудах которого содержание CaF_2 превышает 25%.

Собственно плавиковошпатовые руды обнаружены совсем недавно в области *Очиваронго*, где они приурочены к метаморфическим

породам системы дамара (докембрийский). Рудоносные залежи пластообразной формы состоят из флюорита и кварца и включают тонкие прослои гематита. Ширина их составляет 30–50 м при длине 300 м и более. Содержание плавикового шпата в руде на разведанных участках колеблется от 50 до 90%.

Общие запасы руд Намибии при среднем содержании CaF_2 60% оцениваются в 7 млн. т, из них доказанные – 3 млн. т.

К докембрийской эпохе относится образование единственного в мире промышленного месторождения криолита *Ивигтут* в южной части Гренландии. Руды месторождения отличаются исключительно разнообразным минеральным составом. Основные рудообразующие минералы – криолит (среднее содержание 70%) и сидерит (около 20%). В переменных количествах присутствуют кварц, флюорит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, бурнонит, буланжерит, тетраэдрит, пирротин, арсенопирит, станнин, молибденит, валлериит, магнетит, кубанит, энаргит, шапбахит, гудмундит, аргентит, полибазит, ковеллин, неодигенит, халькозин, борнит. Возраст минерализации определен в 2200 млн. лет.

Месторождение интенсивно разрабатывается в течение многих лет. Годовая добыча руд, достигавшая в прошлом 150–200 тыс. т, в последнее время составляет 55 тыс. т.

Здесь же известен и другой тип минерализации, представленный тонкозернистыми рудами, состоящими в основном из флюорита (50%) и топаза; запасы этих руд оцениваются в 750 тыс. т.

АЛМАЗЫ

Протерозойские (абсолютный возраст 1400 лет) кимберлиты, сопровождаемые алмазоносными щелочными лампрофирами, известны только в Республике Берег Слоновой Кости. Кимберлиты представлены маломощными жилами, в которых содержание алмазов достигает 10 кар/м³. Вероятно, в докембрийское время месторождения алмазов были широко распространены, но следы их существования сохранились лишь в немногих участках земного шара. Докембрийские месторождения послужили, видимо, основными источниками алмазоносности в странах Южной Америки – Бразилии, Венесуэле и Гайане, а также в Индии. За счет разрушения древних коренных месторождений происходило питание алмазами конгломератов Витватерсранда и других подобных образований Южной Америки. Предполагают, что коренными источниками россыпных алмазов Ганы являются метаморфизованные ультраосновные породы бирримской серии (докембрий), в элювии которых найдено несколько кристаллов.

В Австралии в районе Паллагайн обнаружены алмазы в нижнепротерозойских конгломератах, местами содержание их достигает 0,75–1 кар на 1 т породы.

В Бразилии алмазы известны во многих районах страны и приурочены к геологическим образованиям самого различного возраста.

Большой интерес представляют докембрийские интрузивные алмазоносные породы, известные под названием „филлитов". Они встречаются в форме пластовых и секущих даек и жил, образующих линейно вытянутые зоны. Первичный характер „филлитов" до настоящего времени не установлен, так как породы в результате интенсивно проявленных процессов метаморфизма нацело серицитизированы, турмалинизированы и каолинизированы. В незначительном количестве в них присутствуют кианит, монацит, ксенотим, циркон, рутил, пирит, гематит и марганцевые минералы. „Филлиты" залегают среди докембрийских кварцитов и песчаников серии итаколуми и заключают обильные обломки этих пород. Они пересекаются кварцевыми жилами и содержат друзы кварца, выполняющие пустоты в породах. Характерная особенность „филлитов" – их сланцеватость, строго параллельная зальбандам.

Относительно первичной природы „филлитов" существуют различные точки зрения. Одни утверждают, что это метаморфизованные кимберлиты, ссылаясь на их химический состав, соответствующий составу габбро с несколько повышенной щелочностью. Другие считают их производными кислой магмы, основываясь на присутствии в них таких минералов, как кианит, ксенотим, монацит и рутил. Сторонники этой гипотезы не придают значения современному химическому составу пород, так как кремнезем из них мог быть выщелочен и послужить материалом для образования жил и гнезд кварца, о которых упоминалось выше. В то же время присутствие монацита, ксенотима и других минералов, обычно свойственных производным кислой магмы, по мнению ряда исследователей, не может служить веским доказательством, так как эти минералы могли находиться в ксенолитах пород, первоначально содержащихся в дайках.

Содержание алмазов в „филлитах" низкое, и только при благоприятной конъюнктуре рынка эпизодически разрабатывались верхние горизонты даек. В литературе имеются указания, что в ряде мест обнаружены породы, близкие по составу к кимберлитам, и в них найден алмаз массой 0,7 кар.

К алмазоносным отложениям Бразилии относятся также ледниковые конгломераты свиты лаврас, вероятно, кембрийского возраста, нижнепермские и меловые конгломераты и связанные с ними элювиальные и делювиальные россыпи, а также аллювиальные россыпи древней и современной речной сети. Главным источником алмазов служат русловые россыпи, представляющие собой небольшие пятна галечников, спорадически разбросанных в русле и приуроченных к различного рода углублениям и трещинам в плотике.

Качество бразильских алмазов более высокое, чем африканских, и около 90% добываемых камней годно к огранке. За все время эксплуатации месторождений добыто около 23 млн. кар алмазов. В разрабатываемых участках содержание алмазов составляет 1–0,2 г на 1 м³ породы.

В Бразилии аллювиальные алмазоносные россыпи известны более чем в 40 районах. Главные разработки алмазов ведутся в штате Минас-Жерайс близ г. Диамантина. Более крупные камни (массой 3–5 кар)

извлекаются из россыпей штата Мату-Гросу. Алмазы карбонадо добываются преимущественно в штате Баия. В 1980 г. добыто 500 тыс. кар алмазов, из них половина – ювелирные камни.

В Венесуэле и Гайане промышленные скопления алмазов известны только в террасовых, ложковых и русловых россыпях. Считают, что коренными источниками, так же как и в Бразилии, служили месторождения алмазов докембрийской эпохи рудообразования.

Добыча алмазов в Венесуэле заметно возросла после открытия в 1969 г. нового алмазоносного района в бассейне г. Гуаньямо в 350 км к западу от прежних разработок алмазов в бассейне р. Карони. В 1975 г. добыча алмазов в стране достигла 1060 тыс. кар, из них 239 тыс. кар – ювелирные камни, а к 1980 г. добыча снизилась до 800 тыс. кар, в том числе 280 тыс. кар – ювелирные камни. За эти годы сократилась также добыча алмазов в Гайане с 21 тыс. до 15 тыс., в том числе ювелирных с 8 тыс. до 6 тыс. кар.

АСБЕСТ

Крупные промышленные месторождения асбеста докембрийского возраста (по последним данным – 2,5–3,5 млрд. лет) известны только в южной части Африки – в Зимбабве, ЮАР и Свазиленде.

Среди многочисленных месторождений Зимбабве наиболее значительным является издавна разрабатываемое месторождение хризотил-асбеста *Шабани*. Асбестовая зона этого месторождения приурочена к серпентинитам архейского дунитового массива, который прослеживается на 16 км в длину при ширине от 1,5 до 3,5 км. На контакте с более молодыми гранитами, окружающими массив со всех сторон, дунит превращен в серпентинитовые, актинолитовые, тальковые и тальково-карбонатные породы.

Наиболее богатая асбестом зона серпентинизированных пород протягивается вдоль контакта на 4,5 км, в ширину на 200 м и в глубину на 180 м. Она включает 15 пологопадающих столбообразных залежей с промышленной концентрацией хризотил-асбеста в форме густой сети отороченных или сетчатого типа жил. В лежачем боку продуктивных залежей асбест обычно отальк0ван, и ниже располагаются тальково-карбонатные породы, непосредственно залегающие на контакте с гранитами. Мощность отдельных жил асбеста обычно не превышает 18 см, а длина волокна 7,5 см. Запасы асбеста оцениваются в 0,9–1,0 млн. т при среднем выходе волокна около 4%. Добывается руда с содержанием волокна не ниже 1%. Асбест отличается хорошим качеством и высоким выходом текстильных сортов (около 30%).

В Зимбабве известны другие промышленные месторождения асбеста, из которых одни расположены вблизи месторождения Шабани, а другие – группа месторождений *Гатс-Кинг* – находятся к западу от Форт-Виктории. По масштабам минерализации в группе Гатс-Кинг выделяется месторождение *Машаба* с запасами 500 тыс. т асбеста. Выход хризотил-асбеста здесь составляет 0,7–1,2%. Месторождения асбеста известны также в районе Гванда на юге страны и в районе Ломагунди на севе-

ре. Общие запасы хризотил-асбеста в Зимбабве оцениваются в 7 млн. т; производство волокна в 1980 г. составило 250,9 тыс. т.

Весьма разнообразные по качеству и минеральному составу месторождения хризотил-асбеста, крокидолита и амозита известны на территории Ю А Р. Основные месторождения сосредоточены в Трансваале. В его восточной части расположены наиболее крупные месторождения хризотила, где они приурочены к поясу докембрийских серпентинизированных ультраосновных пород, вытянутому в широтном направлении на 80 км при ширине до 4 км. Промышленная асбестоносность концентрируется в пределах двух зон сравнительно небольшой мощности (3–4,5 и 1,5–2,1 м), которые прослеживаются по простиранию соответственно на 700 и 150 м и на глубину (по вертикали) – на 250 м от поверхности.

Зоны густо насыщены параллельными прожилками преимущественно поперечноволокнистого асбеста, и на каждый метр мощности серпентинита приходится от 45 до 90 прожилков асбеста. В связи с этим разрабатываемые руды отличаются исключительно высокой продуктивностью. Содержание волокна асбеста достигает 40%, а в среднем составляет 15–25%. В качестве характерной закономерности отмечается уменьшение с глубиной количества прожилков при соответствующем увеличении их мощности. Качество асбеста весьма высокое, и значительная его часть относится к текстильным сортам. На месторождении, расположенном непосредственно у границ Свазиленда, разрабатывается асбестоносная зона средней шириной 33 м, густо насыщенная прожилками продольно- и поперечноволокнистого хризотил-асбеста, почти целиком представленного текстильными сортами.

В ряде районов Трансвааля разрабатываются хризотил-асбестовые месторождения другого типа, приуроченные к серпентинизированным докембрийским доломитам вблизи контакта с диабазовым силлом также докембрийского возраста. Хризотил-асбест развивается в многочисленных трещинах, образовавшихся в результате гидратации пород и ориентированных параллельно их слоистости. Волокна асбеста расположены перпендикулярно к плоскости трещин. Прожилки группируются в отдельные продуктивные залежи обычно линзообразной формы и ленточной текстуры. Волокно добываемого асбеста белое, шелковистое, высшего качества.

Промышленные месторождения амозита и крокидолита в основном сосредоточены на площади 100 х 10 км и связаны с яшмовидными железисто-кремнистыми породами нижней части свиты претория и частично с подстилающей ее доломитовой серией вблизи их контакта с породами Бушвелдского изверженного комплекса. Амозит отличается большой длиной волокна: 10–17 см, иногда до 30 см. Мощность слоев колеблется в широких пределах: от тонких прожилок до 0,8 м. Считают, что слои амозита и крокидолита образовались путем метаморфизма и перекристаллизации железистых прослоек. Крокидолит меньше распространен, чем амозит. Иногда они вместе образуют промышленные залежи, но чаще всего встречаются раздельно.

Крупные месторождения крокидолита („капский синий") сосре-

доточены в Капской провинции. Они также приурочены к слоистым яшмовидным железисто-кремнистым породам нижней части гриквататаунской свиты. Асбестоносная зона протягивается на 380 км в длину при средней ширине 4,5–14 км и максимальной 48 км. Прослои поперечноволокнистого асбеста мощностью около 10 см залегают согласно с напластованием вмещающих пород. Цвет капского крокидолита изменяется от лавандового до темно-синего, блеск его шелковистый. В результате окисления крокидолит местами превращается в гриквалендит – золотисто-коричневый минерал, применяемый в ювелирном деле.

Общие запасы асбестового волокна в ЮАР исчисляются в 8500 тыс.т, в том числе хризотила 2390 тыс. т, амозита 4200 тыс. т, капского синего крокидолита 1900 тыс. т и прочих видов амфибол-асбеста 10 тыс. т. Производство волокна в 1980 г. составило 268, 9 тыс. т.

Асбестовая зона Трансвааля распространяется на территорию Свазиленда, где разрабатывается крупное месторождение хризотил-асбеста *Хевлок*. Месторождение приурочено к ультраосновному интрузивному массиву, залегающему среди гнейсов и кристаллических сланцев системы свазиленд. Проявления асбестовой минерализации прослеживаются на протяжении 1300 м при ширине от 20 до 40 м. Запасы месторождения оцениваются в 600 тыс. т. Среднее содержание асбестового волокна в рудах составляет 4%. Производство асбестового волокна в 1980 г. составило 31, 4 тыс. т.

Образование промышленных залежей хризотил-асбеста в месторождениях Южной Африки происходило в процессе серпентинизации ультраосновных пород под воздействием слабоминерализованных гидротермальных растворов, связанных с гранитными интрузиями докембрийского возраста.

К докембрийскому возрасту относятся месторождения крокидолит-асбеста, расположенные в северо-восточной части штата Западная Австралия, в горах Хамерсли, где они распространены на площади 160 км длиной и несколько километров шириной. Вмещающими породами служат железистые кварциты.

Доказанные запасы крокидолит-асбеста составляют 370 тыс. т. Месторождения интенсивно разрабатываются. Общая добыча крокидолит-асбеста вместе с хризотил-асбестом верхнепалеозойских месторождений в 1980 г. достигла 83, 4 тыс. т.

Месторождения асбеста докембрийского возраста известны в ряде районов Бразилии. Из них разрабатывается месторождение хризотил-асбеста *Кана-Брава* (штат Гояс), общие запасы которого оцениваются в 50 млн. т руды, содержащей 7% (3,5 млн. т) волокна. В сравнительно незначительном объеме добывается антофиллит-асбест на руднике в штате Алагоас. Общее производство асбестового волокна в стране составляет около 100 тыс. т.

В докембрии образовались месторождения антофиллит-асбеста, расположенные в восточной части Финляндии. Асбест отличается высоким качеством, обладая повышенной кислотостойкостью и огнеупорностью. Запасы его волокна составляют 160 тыс. т; годовая добыча, по-видимому, не превышает 3 тыс. т.

МУСКОВИТ

Промышленные месторождения листовой слюды с площадью пластинок до нескольких десятков, сотен и тем более тысяч квадратных сантиметров встречаются сравнительно редко и известны лишь в немногих странах. Все эти месторождения представлены пегматитами, связанными с гранитной магмой. Они залегают преимущественно в гнейсах, кристаллических сланцах, реже в других метаморфических породах кислого и среднего состава и редко встречаются в самих гранитах.

Все известные в настоящее время слюдоносные районы Норвегии, Финляндии, СССР, Индии, КНР, США, Бразилии, Аргентины, Австралии, ЮАР, Танзании и Зимбабве приурочены к древнейшим участкам земной коры – платформам, щитам и их окраинам, сложенным сильнодислоцированными и глубокометаморфизованными кристаллическими породами, прорванными кислыми и основными интрузиями докембрийского возраста.

Мусковит встречается в пегматитах различных структур – аплитовой, письменной (графической), ортотектитовой, апографической, пегматоидной и замещения, но промышленный крупнокристаллический мусковит присутствует обычно в пегматитах двух последних структур. Наиболее характерные минералы слюдоносных пегматитов – альбит, альмандин, апатит, берилл, биотит, микроклин, мусковит, кварц, рутил, турмалин. В индийских месторождениях весьма распространены кианит и лепидолит. Мусковит редко распространен равномерно по всей жиле, и промышленные концентрации его обычно образуют отдельные обособленные участки или зоны с содержанием минерала 10–15 кг/м^3 и более. Во многих месторождениях в качестве незначительной примеси встречаются редкоземельные минералы.

Пегматиты редко встречаются в виде одиночных жил. Обычно они образуют пегматитовые поля, которые занимают большие площади и включают десятки и сотни пластовых и секущих жил. В одних случаях они группируются вблизи гранитных интрузий, в других – на некотором удалении от них. Иногда размещение пегматитовых жил и общая структура пегматитовых полей подчинены господствующим в районе направлениям сланцеватости и трещиноватости. Метаморфизация вмещающих пород обычно сопровождается образованием в них вблизи контакта с пегматитами кварца, мусковита, турмалина и других минералов, характерных для пегматитов. Сами пегматиты в связи с ассимиляцией вмещающих пород иногда приобретают полосчатое строение, сланцеватую структуру и темную окраску.

Е. Д. Белянкина, Б. Е. Карский и другие исследователи выделяют три промышленно-генетических типа крупнокристаллического мусковита: 1) слюда пегматоидная (иногда встречается клиновидная ельчатая слюда в центральных частях жилы), развившаяся метасоматически по полевым шпатам; 2) слюда „кварц-мусковитового замещающего комплекса" (наиболее плотные и ровные „рубиновые" листы и пачки без ельчатости и клиновидности), образовавшаяся за счет гидролиза полевых шпатов; 3) „трещинный" мусковит, крупные крис-

таллы которого обусловлены приуроченностью к ранее выделившимся кристаллам биотита; биотит в этих случаях частично замещается мусковитом. Авторы считают, что наиболее крупные промышленные скопления мусковита связаны с первым и вторым типами ослюденения. Широко распространена также слюда третьего типа.

Первое место среди капиталистических и развивающихся стран по ресурсам, добыче и экспорту высококачественного мусковита занимает Индия. Бóльшая часть запасов мусковита и основная добыча сосредоточены в штатах Бихар (Бенгалия), Раджастхан и Андхра-Прадеш. Сравнительно небольшие месторождения известны и частично разрабатываются в других районах страны.

Все слюдоносные пегматиты приурочены к породам джарварской системы архея, представленной разнообразными кристаллическими сланцами, филлитами, гнейсами, мраморами, кварцитами, метаморфизованными эффузивными породами и гранитоидами. Они залегают над базальными бенгальскими гнейсами и отделяются от вышележащих пород пурана несогласием. Сами пегматиты представлены грубозернистыми агрегатами кварца, полевого шпата и мусковита. В качестве постоянных спутников в переменных количествах присутствуют биотит, гранат, турмалин, апатит и берилл.

Поля слюдоносных пегматитов распространены на больших площадях. В Бихаре они образуют поле длиной в 160 км и шириной от 16 до 25 км, в Раджастхане главная слюдоносная полоса протягивается на 320 км при ширине до 90 км и более, в Андхра-Прадеш она прослеживается в длину на 100 км при ширине до 16 км. Обычно они залегают согласно с плоскостями сланцеватости вмещающих слюдяных гнейсов и слюдяных сланцев, но нередко секут их под острым углом. В качестве общей закономерности отмечают преимущественную приуроченность наиболее богатых слюдой пегматитов к сланцам.

На контакте с пегматитами вмещающие слюдяные гнейсы и сланцы обогащены турмалином и апатитом. Известны случаи, когда крупный кристалл мусковита заключен частью в пегматите, а частью во вмещающих породах. В большинстве случаев пегматиты обладают линзообразной формой и отличаются разнообразными размерами. Длина их колеблется от 10 до 400 м, мощность – от нескольких сантиметров до 30 м при средней мощности 3–4 м. Нередко пегматиты имеют форму даек и крупных неправильных штокообразных и трубообразных тел.

Пегматиты индийских месторождений часто характеризуются зональным строением. В центральных частях залегает ядро из молочно-белого или розового массивного кварца, содержащего много субмикроскопических жидких включений. К нему с обеих сторон примыкает полевошпатовая зона, к контактам которой с кварцевым ядром и вмещающими породами приурочены слюдоносные зоны с крупными пачками слюды, а также турмалин, гранат, берилл, апатит, колумбит. При этом крупные пачки слюды, турмалин, гранат и апатит обычно располагаются близ контактов с вмещающими породами, а кристаллы берилла – близ центрального кварцевого ядра. Турмалин, гранат и апатит чаще всего приурочены к приконтактовым зонам пегматитов и особенно

обильно развиты во вмещающих породах. Часто отмечается приуроченность высококачественного мусковита красивого рубинового цвета (бенгальская рубиновая слюда) к висячему боку пегматитовых жил.

Кристаллы мусковита, берилла, турмалина и граната нередко достигают больших размеров. Часто добываются пластины слюды размером 60 х 75 см, иногда встречаются отдельные кристаллы мусковита, достигающие 3 м в поперечнике при толщине 4,5 м. Отдельные книжки мусковита и кристаллы берилла достигают по массе 1 т. Встречаются кристаллы граната размером до 30–35 см в поперечнике.

Такие крупные кристаллы обычно располагаются в центральной части полевошпатовой зоны, сложенной также крупными кристаллами. Часто промышленные скопления слюды заключены в плагиомусковитовых пегматитах, в которых плагиоклаз (альбит-олигоклаз) – единственный или почти единственный представитель полевых шпатов. Сохранившиеся реликты микроклина убедительно свидетельствуют о его замещении альбит-олигоклазом.

Цифровые данные о запасах мусковита в Индии не опубликованы, но предполагается, что они вполне могут обеспечить добычу в течение длительного времени. Ориентировочно они определяются в 20–30 млн. т до глубины 300 м. Добыча слюды ведется преимущественно подземными работами. В стране насчитывается несколько сотен рудников. Глубина выработок на большинстве рудников составляет 100 м, но имеются шахты глубиной до 300 м. В 1978 г. в Индии было добыто 34 444 т мусковита, в том числе в Бихаре более половины всего объема, Раджастхане и Андхра-Прадеш почти весь остальной мусковит. Выход слюды составляет в среднем 6% от вынутой породы, а выход щипаной слюды по отношению к забойному сырцу в среднем определяется в 10–12%. В самой Индии слюда потребляется в ничтожных количествах (1–2%), основная масса добываемого сырья экспортируется. В ряде месторождений Индии вместе со слюдой извлекаются берилл и ураносодержащие минералы.

Крупными ресурсами мелкоразмерного мусковита обладают С Ш А. Эти ресурсы заключены в многочисленных месторождениях, расположенных в трех крупных слюдоносных поясах – Аппалачском, Восточном и Западном. В первом поясе пегматиты залегают среди докембрийских глубокометаморфизованных кварцево-слюдистых сланцев, отличаются низкосортной слюдой и сравнительно высоким содержанием танталита, колумбита, берилла и литиевых минералов. Для другой части пегматитов, залегающих преимущественно среди докембрийских слюдяных и амфиболовых гнейсов и сосредоточенных в штатах Виргиния, Северная и Южная Каролина, Джорджия и Алабама, абсолютный возраст, измеренный по уранониту и монациту, определен в 600 млн. лет. Докембрийский возраст устанавливается на основании геологических данных для большинства слюдоносных пегматитов Восточного пояса (штаты Вайоминг, Колорадо, Нью-Мексико, Южная Дакота, Айдахо и Техас) и для большей части пегматитов Западного пояса, включающего штаты Вашингтон, Орегон, Невада, Калифорния, Аризона.

Выделяются три типа пегматитов: зональные пегматиты, пегматиты,

выполняющие трещины, и пегматиты замещения. Наибольшей слюдоносностью отличаются зональные пегматиты. Они состоят из ряда зон, различных по составу и структуре, последовательно сменяющих одна другую от краев к центру. Главные из них – краевые (контактные), боковые (призальбандовые), промежуточные (их может быть две–три, а иногда и больше) и ядро (центральная). Наиболее продуктивны боковые и промежуточные зоны. Слюда промежуточных зон пластинчатая, отличается высоким качеством, коричневым и рубиново-коричневым цветом. Для промежуточных зон характерен клиновидный, часто зеленый мусковит низкого качества с незначительным выходом листовой слюды.

Форма пегматитов весьма разнообразна. Среди них встречаются пластообразные, линзообразные, ветвистые и реже трубообразные тела. Протяженность разрабатываемых пегматитовых жил колеблется от 30 до 300 м, мощность – от 1,5 до 30 м. Почти повсеместно проявляется воздействие пегматитов на боковые породы. В сланцах вдоль контакта с пегматитом обычно возникает вторичная сланцеватость, которая захватывает несколько метров боковой породы, иногда обогащенной турмалином, бериллом, слюдой, полевым шпатом.

В большинстве месторождений США преобладает низкосортная слюда. Запасы листовой слюды, по-видимому, не превышают 200 тыс. т. Основные эксплуатируемые месторождения сосредоточены в штатах Северная Каролина и Нью-Гэмпшир, на которые приходится около $^4/_5$ всей добычи мусковита в США. Из других штатов США следует отметить Коннектикут, где добываются значительные количества низкосортной слюды, и Айдахо, месторождения которого в годы второй мировой войны стали важным источником добычи мусковита.

По статистическим данным, добыча слюды в США намного превышает добычу в Индии. Однако в США объем добычи включает мелкоразмерную слюду, попутно извлекаемую при добыче полевого шпата, и слюдяную чешуйку, получаемую из каолинов и слюдяных сланцев, а количество листовой слюды составляет доли процента от общей добычи. Поэтому приводимые цифры добычи в США и Индии несопоставимы.

В ряде районов слюдоносные пегматиты содержат в промышленных концентрациях берилл, минералы лития, тантала и ниобия, которые извлекаются попутно со слюдой. В США насчитывается более 5000 рудников, разрабатывающих слюдоносные пегматиты, на многих из них осуществляется кустарная добыча.

Крупные поля слюдоносных пегматитов широко распространены в Бразилии, особенно в штате Минас-Жерайс, где они развиты на площади более 100 000 км². Они обычно залегают среди биотитовых сланцев архея, кварцитов, филлитов и огнейсованных полосчатых норитов, диоритов, анортозитов протерозоя. Реже пегматиты встречаются среди гранито-гнейсов и амфиболитов также докембрийского возраста. Несмотря на сравнительно широкое развитие кембрийских и силурийских пород в этих районах, слюдоносные пегматиты в них не встречаются, поэтому возраст последних считается докембрийским.

Абсолютный возраст пегматитов, залегающих среди архейских сланцев, определен в 1926–1930 гг. по радиоактивным минералам в 557–340 млн. лет, что соответствует интервалу времени от позднего докембрия до ордовика; но эти определения, вероятно, недостаточно точны и не согласуются с геологической позицией месторождений, которая свидетельствует о более древнем их возрасте.

Большинство промышленных пегматитовых образований имеют форму пластовых, плитообразных и линзообразных тел, которая находится в тесной связи с характером вмещающих пород. Неправильной формы пегматиты с нечеткими контактами характерны для сланцев. В кварцитах, гнейсах и интрузивных породах обычно развиты пегматиты правильной формы с резкими контактами.

Пегматитовые тела бразильских месторождений отличаются сравнительно небольшими размерами. Только некоторые из них прослеживаются по простиранию на 120 м, мощность их достигает 18–20 м. Глубина распространения ослюденения составляет 120 м и более. Жилы с запасами более 500 т слюды-сырца встречаются редко. Пегматит часто содержит крупные ксенолиты вмещающих пород. Большей части пегматитов присуща массивная или зональная текстура. Часто в них проявляется симметричная зональность.

По минеральному составу выделяются два типа слюдоносных пегматитов. К первому типу относятся пегматиты сравнительно простого минерального состава. Они сложены в основном (на 90%) кварцем, микроклином и плагиоклазом и содержат в переменных количествах мусковит, биотит, черный турмалин, розовый гранат и реже зеленый берилл. Пегматиты второго типа отличаются более разнообразным составом, и наряду с перечисленными минералами в них встречаются также танталит, колумбит, сподумен, амблигонит, апатит, трифилит, арроядит, бразилианит, лазулит, пирит, арсенопирит, молибденит, магнетит, хризоберилл, аксинит, топаз, циркон, самарскит, уранинит, поликраз, монацит и фенакит. Часть из этих минералов по огранке, окраске и другим свойствам относят к драгоценным камням.

Наиболее распространенный голубовато-зеленый берилл встречается в пегматитах обоих типов. Другие драгоценные минералы – желтый и розовый берилл, розовый и зеленый сподумен, зеленый, розовый и синий турмалин, голубой и белый топаз, аксинит, хризоберилл – встречаются только в сложных пегматитах, содержащих большое количество альбита. Для слюдоносных пегматитов характерно пониженное содержание кварца, которое редко достигает 40%, а иногда опускается до 10%.

По характеру распределения промышленного мусковита в пегматитах бразильских месторождений выделяются три типа минерализации: зональный, рассеянный и гнездовой. Около 80% слюды дает зональный тип, 15% – рассеянный и 5% – гнездовой. Обычно в зональных пегматитах главная масса промышленной слюды приурочена к краевым и промежуточным зонам. В пологопадающих и горизонтальнозалегающих пегматитовых жилах наибольшая концентрация мусковита отмечается в висячих боках, а в вертикальных и крутопадающих жилах промыш-

ленное ослюденение проявляется более или менее равномерно с двух сторон, а также внутри центральной зоны.

Добыча слюды в Бразилии осуществляется на 500 рудниках. Верхние горизонты жил до глубины 30–60 м отрабатываются карьерами. Почти вся добытая слюда экспортируется. Уровень годового производства слюды составляет 2,3–2,8 тыс. т.

Кроме Индии, США и Бразилии, относительно большими ресурсами мусковита обладают Мексика, Аргентина, ЮАР и Зимбабве. Сравнительно небольшие месторождения мусковита разрабатываются в Танзании, Норвегии, Австралии и Судане. Все они относятся к докембрийскому возрасту и находятся в сходных геологических условиях. Мелкие месторождения мусковита вероятно докембрийского возраста известны во многих других капиталистических странах, но существенного значения в общих ресурсах и добыче они не имеют.

В Африке по качеству мусковита выделяются месторождения Танзании, которые расположены в горах Улугуру и Рубехо. Сведения о запасах отсутствуют. Добыча осуществляется в небольших размерах. Добытая слюда отличается исключительно высоким качеством. Встречаются рубиновые разновидности, сходные с бенгальскими.

Наиболее значительные месторождения ЮАР сосредоточены в северо-восточной части Трансвааля. Листовая слюда встречается редко, почти вся добываемая и экспортируемая слюда представлена скрапом.

Несколько лучшим качеством отличается слюда месторождений Зимбабве, которые разрабатываются в районах Ломагунди, Розамбо и Фунгве. Вмещающие породы этих месторождений представлены глубокометаморфизованными кристаллическими сланцами и гнейсами, содержащими ставролит, гранат, кианит и силлиманит. Пегматиты имеют линзообразную или пластообразную форму; наиболее богатая минерализация наблюдается в висячем и лежачем боках, где кристаллы мусковита достигают в длину 150 см при толщине 70 см. Слюда хорошего качества, бурая с рубиновым оттенком. Кроме полевого шпата, кварца и мусковита пегматиты содержат биотит, берилл, танталит, вольфрамит, хризоберилл. Объем добычи незначителен.

В пределах Африканского континента месторождения мусковита, приуроченные к глубокометаморфизованным докембрийским породам, известны и разрабатываются также в Мозамбике, Конго, Уганде, Анголе и Алжире.

В Австралии мусковитовые пегматиты развиты преимущественно в центральной части страны. Они приурочены к слюдяным сланцам и гнейсам, которые образуют полосу, прослеживающуюся на расстоянии 90 км при ширине от 3 до 12 км. Пегматиты в форме пологозалегающих даек и трубообразных тел характеризуются зональным строением и сложены в основном микроклином, кварцем и реже плагиоклазом. Кроме мусковита встречаются биотит, апатит, берилл и турмалин. Мусковит обычно концентрируется в лежачем боку жил.

Добыча мусковита в капиталистических и развивающихся странах увеличивается быстрыми темпами. По сравнению с 1901 г. уровень го-

довой добычи возрос в десятки раз. Основными производителями и поставщиками мусковита на мировой рынок в течение многих лет являются Индия, Бразилия и США, при этом доля Индии в производстве листовой слюды достигает 90%, а в экспорте – более 75%.

На территории С С С Р месторождения мусковита широко распространены почти во всех районах развития архейских и протерозойских пород. Они всегда связаны с определенными комплексами метаморфических пород, постоянными по составу для отдельных районов.

Ряд слюдоносных районов известен в пределах Карело-Мурманского геологического региона, в котором основные месторождения слюды приурочены к беломорской гнейсовой серии архея. В Карелии слюдоносные пегматитовые жилы сосредоточены в пределах „продуктивных горизонтов" биотит-гранат-кианитовых гнейсов чупинской свиты и генетически связаны с постботнийскими микроклиновыми гранитами, внедрение которых обусловило интенсивную мигматизацию гнейсов. В отдельных районах насчитывается до нескольких тысяч пегматитовых жил, из которых слюдоносна примерно одна треть.

Как и во всех слюдоносных месторождениях мира, пегматитовые жилы Карелии отличаются непостоянством размеров. Обычно жилы отличаются крутым, часто вертикальным падением и выклиниваются на глубине до 80–100 м. Структуры пегматитов также разнообразны, но наиболее характерны для них гранитовая, графическая и блоковая. Встречаются хорошо дифференцированные пегматиты с крупными обособлениями кварца в центральных частях жил. Помимо полевых шпатов, кварца, биотита и мусковита, пегматиты содержат апатит, гранат, турмалин и другие минералы.

Значительные области распространения мусковитовых пегматитов известны в Восточной Сибири. В Байкало-Патомском нагорье месторождения слюды приурочены к мамской толще нижнепротерозойских гнейсов, мраморов, кварцитов и сланцев. Среди последних выделяются биотитовые, амфиболитовые, дистен-гранатовые, графитовые, скаполитовые и другие разновидности. Здесь мамская толща разделяется на витимскую, слюдянкинскую и согдиондонскую продуктивные свиты. Перспективными на мусковит являются толщи с частым переслаиванием высокоглиноземистых дистенсодержащих гнейсов и сланцев с различными разностями биотитовых гнейсов, кварцито-гнейсов, карбонат-силикатных и кристаллических карбонатных пород.

Согласно Ю. М. Соколову, степень метаморфизма пород мамской свиты возрастает с севера на юг, от ставролит-дистеновой до альмандин-силлиманитовой субфации, и параллельно с изменением степени метаморфизма в этом же направлении изменяется состав пегматитов: слюдоносные пегматиты широко развиты в зоне дистеновых пород, а в зоне силлиманитовых пород мусковит практически исчезает. Пегматиты представлены секущими, пластовыми, седлообразными и трубчатыми жилами.

Кристаллы мусковита обычно связаны с пегматоидной структурой и кварц-мусковитовым замещающим комплексом. Обогащенные участ-

ки часто приурочены к тектоническим трещинам. По минеральному составу пегматиты Восточной Сибири сходны с пегматитами северо-западных районов СССР. Часто они содержат ксенолиты вмещающих пород и такие минералы, как дистен, гранат и биотит.

Относительно генезиса мусковитовых пегматитов существует несколько гипотез, хотя все исследователи придерживаются единой точки зрения относительно генетической связи слюдяных месторождений с гранитоидами – преимущественно с биотитовыми плагиоклаз-микроклиновыми разностями нормального состава. Мусковитовые пегматиты, несомненно, образовались на больших глубинах, достигающих, по данным А. И. Гинзбурга и Г. Г. Родионова, 5–8 км.

По мнению многих исследователей, пегматиты связаны с остаточными расплавами кислой магмы, богатыми водно-газовыми подвижными компонентами.

Наличие в расплаве H, OH^-, B, P, F и других компонентов содействовало при определенной температуре, давлении и достаточном времени застывания росту больших кристаллов, характерных для пегматоидных структур.

В разработанной А. Е. Ферсманом общей схеме процессов образования пегматитов, возникающих при последовательном остывании остаточного расплава магмы, выделяются девять различных типов пегматитов в зависимости от температурных интервалов их застывания. Образование мусковита происходит при 650–450°С. А. Е. Ферсман и многие его последователи, считая, что пегматиты с крупнокристаллической слюдой образовались преимущественно в процессе остывания остаточного раствора, указывают на наложение одних фаз кристаллизации на другие, разъедание ранее образованных минералов новыми, возникшими в результате привноса магматических и постмагматических компонентов более поздних фаз минерализации. В пользу этой гипотезы свидетельствует тесная ассоциация крупных кристаллов мусковита с крупными кристаллами полевого шпата и дымчатого кварца, а также их распределение в пегматите, характерное для единого процесса образования породы.

Другие исследователи ведущую роль в промышленном ослюденении отводят постмагматическим процессам и придерживаются гипотезы гидротермального замещения первичных безрудных пегматитов. Они считают, что из остаточных магматических расплавов формируются только высокотемпературные аплиты и письменные пегматиты, а остальные, более низкотемпературные разновидности пегматитов, в том числе мусковитовые, образуются в результате метаморфизма высокотемпературных пегматитов под воздействием постмагматических растворов. В качестве одного из доказательств этой гипотезы указывают на ассоциацию с альбитом, кварцем и турмалином.

ФЛОГОПИТ

Большинство промышленных месторождений магнезиально-железистой слюды флогопита, исключая уникальное Ковдорское месторождение, залегает среди глубокометаморфизованных докембрийских образований и приурочено к зонам метасоматического изменения пород преимущественно первичного карбонатного состава, за счет которых образовались диопсидовые и скаполит-диопсидовые породы с гнездами, карманами, линзами, прожилками, жилами и отдельными кристаллами флогопита. Встречаются также кальцит-флогопитовые жилы или неправильной формы залежи в пироксенитовых породах, кристаллических известняках, разнообразных гнейсах и сланцах.

В Южной Якутии месторождения флогопита расположены среди пород архея , представленных разнообразными гнейсами, кристаллическими сланцами, доломитизированными мраморами и диопсидовыми породами. Среди кристаллических сланцев и гнейсов особенно широко развиты породы с повышенным содержанием магния. Во многих из них основными породообразующими минералами являются пироксен, гранат, амфибол, биотит и нередко кордиерит. Длина слюдоносных зон варьирует от 10–20 до 400 м, мощность колеблется от 1–1,5 м до нескольких десятков метров. Ряд зон прослежен на глубину до 100–180 м.

Разведано несколько десятков месторождений, состоящих обычно из ряда слюдоносных зон с весьма неравномерным содержанием флогопита, которое по отдельным зонам колеблется от 5 до 1900 кг/м^3.

Жильные месторождения флогопита, разведанные на побережье Байкала, залегают обычно в пироксен-амфиболовых или биотит-пироксеновых гнейсах. Жилы отличаются зональным строением, краевые их части, как правило, сложены диопсидовыми породами, сменяющимися к центру зонами флогопитизации; центральная часть жил иногда сложена кальцитом. Кристаллы флогопита нередко достигают больших размеров (в поперечнике 0,5 м и более) и ассоциируют с кальцитом и голубыми кристаллами фторапатита. В краевых частях жил встречаются хорошо раскристаллизованные скаполиты.

В Канаде месторождения флогопита приурочены к разнообразным по составу и текстуре гнейсам, часто к гранатсодержащим кварцитам и мраморам гренвиллской серии, прорванным гранитами, сиенитами, диоритами и габбро. Промышленные флогопитовые тела обычно залегают в гнейсах вблизи контакта с кристаллическими известняками и окаймлены диопсидовой породой. Продуктивные флогопитоносные образования распространены на площади 3–4 тыс. км^2. Наибольшее промышленное значение имеют месторождения, представленные системой параллельных жил. Длина их по простиранию обычно не превышает 30 м при мощности от нескольких сантиметров до 5 м. Жилы характеризуются симметрично-зональным расположением мономинеральных зон. Центральная часть обычно выполнена кальцитом, который по направлению к краевым частям жилы сменяется апатитовыми и далее флогопитовыми зонами. Кристаллы флогопита в месторождениях этого типа достигают крупных размеров.

В отношении генезиса канадских месторождений флогопита существуют три гипотезы. Одни исследователи считают, что образование пироксеновых пород связано с кристаллизацией магмы основного состава, а флогопит и апатит являются продуктами пегматитовых эманаций той же магмы. Другие полагают, что пироксеновые породы и флогопитовые тела — продукты особой гибридной магмы, которая во время прохождения через толщи доломитизированных известняков обогатилась P, CaO и MgO. Флогопит образовался в гидротермальную стадию, когда растворы, обогащенные H_2O, CO_2, F, MgO и другими компонентами, проходя через боковые породы, растворяли ранее образовавшиеся минералы и отлагали новые в пустотах и трещинах. Согласно третьей гипотезе, пироксеновые породы образовались в результате глубокого метаморфизма магнезиальных известняков под действием пегматитовых растворов кислой магмы; при этом образование флогопита и апатита относится к заключительной стадии метасоматического процесса.

Весьма сходными чертами характеризуются флогопитовые залежи Мадагаскара. Флогопитоносные жилы, гнезда и пластообразные тела залегают в контакте пироксеновых пород и пироксен-плагиоклазовых сланцев. Они также отличаются симметрично-зональным строением, сменяющимся к зальбандам флогопитом и затем диопсидом. Флогопит в гнездах и жилах обычно образует толстые пластины, размеры которых сильно колеблются, достигая в ряде случаев 2 м в поперечнике. В месторождениях, кроме диопсида и кальцита, минералы, ассоциирующие с флогопитом, не встречаются. Из этого следует, что образование флогопита и других минералов происходило в пневматолитической стадии постмагматического процесса и связано с привносом глинозема, железа и щелочей, первоисточником которых была гранитная магма. Максимальное производство листовой слюды достигнуто здесь в 1959 г., и с этого времени оно неуклонно снижается. Постепенно закрылись многочисленные мелкие рудники, и теперь вся добыча сконцентрирована на четырех наиболее крупных месторождениях, суммарная добыча которых составляет примерно 1,5 тыс. т в год.

РАННЕПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭПОХА РУДООБРАЗОВАНИЯ

В соответствии с принятой шкалой абсолютного возраста раннепалеозойская эпоха, начавшаяся примерно 570 млн. лет назад, включает три периода: кембрийский – длительностью 90 млн. лет, ордовикский – 60 млн. лет и силурийский – 20 млн. лет. По сравнению с докембрийскими образованиями нижнепалеозойские отложения отличаются более ограниченным распространением и меньшей мощностью. Проявившаяся в эту эпоху каледонская складчатость приурочена в основном к краевым частям докембрийских щитов и платформ, где в то время существовал геосинклинальный режим накопления осадков. Выделяют четыре фазы складчатости: салаирскую в верхнем кембрии, таконскую на границе ордовика и силура, арденнскую на границе нижнего и верхнего силура и эрийскую в конце силура.

В складчатых областях, окаймляющих с юга Сибирскую платформу, орогенические движения и магматическая деятельность проявлялись в течение второй половины кембрийского периода (салаирская складчатость). К тому же времени относятся проявления складчатости в Казахстане (*хребет Чингиз-Тау*) и в Аппалачах (вермонская фаза). В пределах Великобритании и Норвегии складкообразование и внедрение интрузий гранитов происходило во второй половине силура. На Урале, в Центральном и Восточном Казахстане, на Алтае и в Аппалачах наиболее мощные излияния эффузивов преимущественно основного состава происходили в ордовике. К началу силура относятся интрузии основных и ультраосновных пород Урала. В Южной Австралии орогенические движения и магматическая деятельность проявлялись на границе ордовика и раннего силура, а также в конце позднего палеозоя.

Раннепалеозойская эпоха рудообразования сравнительно бедна полезными ископаемыми. Несмотря на интенсивную магматическую деятельность и разнообразный состав интрузивных пород – от кислых и щелочных до основных и ультраосновных, генетически связанные с ними эндогенные месторождения встречаются редко и отличаются небольшими размерами. Более заметную роль играют месторождения экзогенного происхождения, но их удельный вес в мировых запасах и добыче минерального сырья, за редким исключением, незначителен.

В отличие от докембрийской эпохи в раннем палеозое появляются промышленные месторождения каустобиолитов. Промышленные месторождения нефти и газа раннепалеозойского возраста широко распространены в Северной Америке; наиболее крупные из них связаны с карбонатными отложениями ордовика. Промышленная нефтегазоносность установлена также в нижнепалеозойских отложениях Северной Африки. В Алжире она проявлена в песчаниках кембрия и ордовика, а в Ливии –

в кембрийских и силурийских отложениях. Нижнепалеозойскими являются месторождения нефти Сибирской платформы; нефтегазоносны также силурийские отложения Тимано-Печорской провинции.

К нижнему палеозою относится Прибалтийский бассейн горючих сланцев, в пределах которого продуктивны отложения среднего ордовика, а также месторождения аморфного графита в Южной Корее, которые, по мнению ряда исследователей, образовались в результате метаморфизма углей.

Железистые кварциты, характерные для докембрийской эпохи рудообразования, в отложениях нижнего палеозоя не встречаются. В Северной Америке широко развиты оолитовые шамозит-гематитовые руды, которые, по-видимому, являются мелководными осадочными отложениями, сингенетичными вмещающим их породам ордовика (месторождения Ньюфаундленда в Канаде) и силура (месторождения Бирмингемского района США). Общие запасы этих руд с содержанием железа более 35% оцениваются в несколько десятков миллиардов тонн. Сходные по характеру образования и составу железные руды встречаются и на других континентах, но из-за низкого качества и незначительных запасов они практического значения почти не имеют.

В Западной Сибири известен ряд сравнительно небольших магнетитовых контактово-метасоматических месторождений, генетически связанных с раннекаледонскими интрузиями гранитоидов.

В нижнем палеозое образовались небольшие месторождения марганца осадочно-метаморфизованного типа. В СССР они относятся к кембрию, В США – к ордовику, в КНР – к силуру. Возможно, что раннепалеозойский возраст имеют месторождения марганца ЮАР, условно отнесенные к докембрию.

Бокситы раннепалеозойского возраста известны, по-видимому, только в Азии. В Восточной Сибири они приурочены к кембрийским карбонатным отложениям, а в КНР – к известнякам кембрия и ордовика.

Несмотря на развитие многочисленных проявлений никеля и кобальта, генетически связанных с каледонскими ультраосновными интрузиями, сколько-нибудь значительных промышленных месторождений этих полезных ископаемых неизвестно. Вероятно, к нижнему палеозою относятся мелкие месторождения низкосортных хромитов, а также сульфидных руд никеля и кобальта Норвегии. Мелкие месторождения хромитов раннепалеозойского возраста известны в Канаде. В генетической связи с каледонским магматизмом находятся небольшие месторождения медноколчеданных руд в Норвегии, Центральном Казахстане и на Урале.

В Бирме предположительно ранним палеозоем датируется сравнительно крупное месторождение полиметаллических руд Боудвин и ряд мелких месторождений. В СССР с каледонским магматизмом генетически связывается полиметаллическое оруденение Салаира, Урского района, Западного Саяна и Западного Забайкалья.

Таблица 4

Распределение раннепалеозойских доказанных запасов и добычи (производства) важнейших видов минерального сырья развитых капиталистических и развивающихся стран по регионам

Полезные ископаемые	Всего**		Западная Европа		Азия		Северная Америка	
	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча
Нефть, млрд. т	2,2	0,15	–	–	–	–	0,9	0,08
Газ, млрд. м^3	869	81	–	–	–	–	450	75
Уран*, тыс. т	1	0,10	1	0,10	–	–	–	–
Железные руды, млн. т	3800	20,08	–	–	–	–	3800	20,08
Медь, млн. т	2,8	0,07	–	–	–	–	2,8	0,07
Никель, тыс. т	10	0,5	10	0,5	–	–	–	–
Свинец, млн. т	5,4	0,05	–	–	1,0	0,01	4,4	0,04
Цинк, млн. т	3,6	0,04	–	–	0,6	0,01	3,0	0,03
Вольфрам, тыс. т WO_3	15	2,10	15	2,10	–	–	–	–
Фосфориты и апатиты, млн. т	602	0,22	25	0,20	–	–	550	–
Плавиковый шпат, млн. т	2,5	0,06	–	–	–	–	–	–
Асбест*, млн. т	39,0	1,16	–	–	–	–	39,0	1,16

*Даны общие запасы.

**Запасы и добыча в Центральной и Южной Америке плавикового шпата составляют соответственно 2,5 и 0,06 млн. т, в Африке нефти – 1,3 и 0,07 млрд. т, газа 4,9 и 6 млрд. м^3, в Австралии и Океании фосфоритов и апатитов – 27 и 0,02 млн. т.

Исключительно редко встречаются промышленные концентрации олова, вольфрама и молибдена раннепалеозойского возраста; они известны только в восточных районах СССР и в КНР.

Нижнепалеозойские редкометалльные пегматиты, абсолютный возраст которых определен в 350–450 млн. лет, широко развиты в пределах Аппалачей в США, где они интенсивно разрабатываются. Тот же возраст (403–410 млн. лет) имеют пегматиты ряда районов Восточной Сибири. Судя по замерам абсолютного возраста пород, к нижнему кембрию относятся карбонатиты Норвегии и Швеции.

С нижнепалеозойскими проявлениями магматизма генетически связаны месторождения золота, расположенные в Горной Шории, Кузнецком Алатау, Западном и Восточном Саяне, Горном Алтае и на Южном Урале.

Сравнительно крупные ресурсы урана заключены в верхнекембрийских диктионемовых сланцах Швеции. Это – почти единственный в мире источник урана раннепалеозойского возраста.

К раннепалеозойскому времени относится образование крупных

месторождений хризотил-асбеста в Канаде. Они приурочены к обширному поясу серпентинизированных ультраосновных пород, протягивающемуся в юго-западном направлении на территорию США, где с ним также связаны месторождения асбеста. Промышленные месторождения асбеста известны в пределах южного нижнепалеозойского складчатого обрамления Сибирской платформы. Возраст этих месторождений не ясен. Ультраосновные породы несомненно относятся к нижнему палеозою, но возможно, что серпентинизация их и образование асбеста обусловлены воздействием более поздних, послесилурийских гранитных интрузий.

Предположительно к нижнему палеозою относятся месторождения плавикового шпата Бразилии, некоторые исследователи к этой эпохе относят образование многочисленных месторождений плавикового шпата в Южной Африке. В СССР значительные ресурсы плавикового шпата, генетически связанные с нижнепалеозойскими аляскитовыми калиевыми гранитами, выявлены на Дальнем Востоке.

В последнее время в Восточной Сибири выявлены также залежи калийных солей, приуроченные к отложениям нижнего кембрия.

Заметную роль в мировых запасах и добыче минерального сырья играют нижнепалеозойские месторождения нефти, железных руд и асбеста в Северной Америке, фосфоритов Каратау и горючих сланцев Прибалтики в СССР, фосфоритов в КНР и МНР (табл. 4).

НЕФТЬ И ГАЗ

Месторождения нефти и газа раннепалеозойского возраста сравнительно ограниченно распространены. За рубежом они известны и разрабатываются в пределах Северо-Американской и Северо-Африканской платформ. В США и Канаде они встречены как в терригенных, так и в карбонатных отложениях всех систем; наиболее значительные залежи нефти и газа приурочены к карбонатным образованиям ордовика.

В США продуктивные песчаники кембрия и ордовика особенно широко распространены в Канзасе, а также в южной и северо-восточной частях Оклахомы. Наиболее крупное месторождение нефти в Канзасе *Эльдорадо* приурочено к пологой брахиантиклинальной складке общей протяженностью более 20 км шириной около 7 км. Нефть залегает в основном в карбонатной толще арбокл и песчаниках вилкокс ордовика. Добыча нефти на этом месторождении уже превысила 50 млн. т. В Оклахоме крупнейшим месторождением является *Оклахома-Сити,* богатейшие залежи которого также приурочены к карбонатной толще арбокл ордовика (рис. 37). Начиная с 1928 г., здесь добыто свыше 100 млн. т нефти.

*Ряд месторождений, в которых нефть получена из песчаников ордо*вика, открыт в северной части Техаса. Значительная добыча нефти из отложений кембрия, ордовика и силура осуществляется из месторождений Пермского нефтеносного бассейна и области свода Бенд. Запасы нефти одного из наиболее крупных месторождений Пермского бассейна –*Уос-*

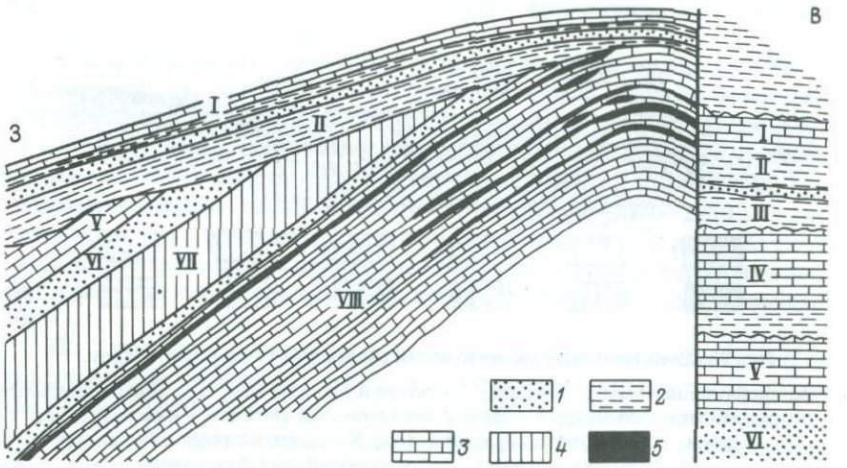


Рис. 37. **Широтный разрез месторождения Оклахома-Сити** *(по Ч. Гомеру)*:

1 – пески; *2* – сланцы; *3* – известняки; *4* – песчаники и сланцы; *5* – продуктивные горизонты.
I – известняки освего (пермь); II – сланцы чероки; III – свиты майес и вудфорд (пенсильванские отложения); IV – свита хоттон (миссисипские отложения); V – свита виола; VI – свита вилкокс; VII – свита симпсон; VIII – толща арбокл (ордовик)

сана – оценивались примерно в 100 млн. т, из которых большая часть уже извлечена (оно эксплуатируется с 1936 г.). Основной продуктивный горизонт месторождения представлен отложениями ордовика.

Пробуренная в Оклахоме (США) самая глубокая скважина Берту-Роджерс (9583 м) вскрыла в породах группы арбокл (ордовик – кембрий) жидкую серу, а на глубине 3900–3930 м – приток газа дебитом 113 тыс. м³.

К карбонатным отложениям этого возраста приурочены также высокопродуктивные залежи газа. В штате Виргиния нефть и газ извлекаются из отложений кембрия, ордовика и силура, в штатах Нью-Йорк, Кентукки и области Лайма-Индиана – из отложений ордовика и силура. Продуктивные отложения ордовика и силура известны в пределах Мичиганского и Иллинойского бассейнов. В бассейне Уимлстон (Дакота, Монтана) на глубине 3500 м в отложениях ордовика обнаружены залежи конденсата.

За последние годы в США значительно повысился удельный вес пусковых и разведочных работ, направленных на выявление промышленных скоплений нефти и газа в нижнепалеозойских отложениях.

Весьма перспективны в этом отношении кембро-ордовикские отложения, широко распространенные в штате Огайо. Они залегают на глубине около 1500 м и представлены серией карбонатных и терригенных пород с высокой пористостью и проницаемостью. За последние годы здесь открыт ряд промышленных месторождений нефти и газа.

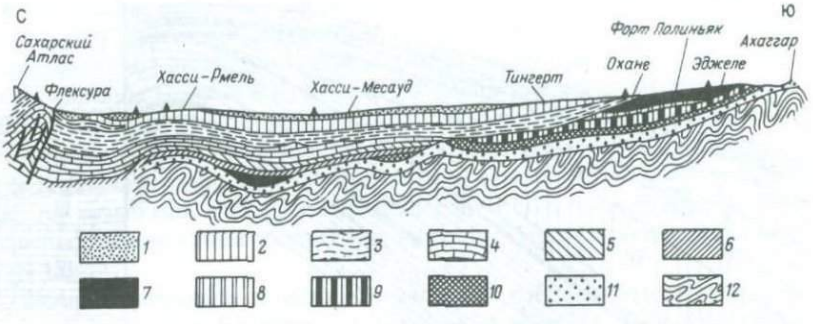


Рис. 38. Схематический геологический разрез через Северную Сахару.

1 – миоцен-плиоценовые отложения; *2* – эоцен и верхний мел; *3* – континентальные отложения нижнего мела; *4* – юра; *5* – соленосный триас; *6* – нижний триас; *7* – карбон; *8* – средний и верхний девон; *9* – нижний девон; *10* – силур; *11* – кембро-ордовик; *12* – докембрийский фундамент

Сообщалось об открытии нефти в отложениях кембрия бассейна Уиллистон (северная часть штата Северная Дакота), где в ходе опробования испытателем пласта на глубинах 2919–3010 м получено 30 т нефти с плотностью 0,865 г/см³. Рассматривается возможная продуктивность кембрия в других нефтяных районах США. Так, в Западной Виргинии промышленная газоносность установлена в кембрийских отложениях на глубине 4290 м.

В К а н а д е, в юго-западной части провинции Онтарио, с 1861 г. эксплуатируется ряд месторождений, в которых нефть приурочена к породам силура и ордовика. В западной части Онтарио обнаружены промышленные залежи нефти и газа в среднеордовикских доломитизированных известняках на глубине 630 м. Открыто также месторождение газа в верхнекембрийских отложениях.

Крупные месторождения нефти и газа открыты в Африке, на территории Алжира и Ливии, где нейтегазоносен весь разрез нижнепалеозойских отложений и все продуктивные горизонты представлены песчаниками.

В А л ж и р е продуктивные горизонты приурочены к отложениям от кембрия до карбона включительно. Самое крупное месторождение *Хасси-Мессуд* приурочено к обширному пологому поднятию платформенного типа и сложено песчаниками кембрия и ордовика, перекрытыми триасовыми, меловыми и кайнозойскими отложениями (рис. 38). Нефтегазоносность связана с кембрийскими песчаниками, в которых скважинами глубиной от 3200 до 3800 м вскрыто четыре продуктивных горизонта мощностью до 35 м каждый. Извлекаемые запасы нефти оценивались в 300 млн. т, а общие запасы – 1 млрд. т. На каждую тонну добытой нефти приходится 230 м³ горючего газа.

В районе Хасси-Месуд открыт еще ряд крупных месторождений

нефти, продуктивные горизонты которых приурочены к песчаникам кембрия, ордовика и девона.

В Ливии нефтегазоносны отложения кембрия, ордовика, силура, девона, карбона, триаса, верхнего мела, палеоцена и эоцена. К песчаникам кембрия и ордовика, залегающим на глубине 700–800 м, приурочены продуктивные горизонты месторождения *Эль-Хаге;* дебит скважин колеблется от 10 до 100 т/сутки. На месторождении *Бир-Тлаксин* промышленные залежи нефти установлены на глубине 3070–2750 м в песчаниках силура; здесь дебит скважин колеблется от 100 до 1000 т/сутки. К песчаникам силура приурочены также нефтеносные горизонты месторождения *Емгайет,* где суточный дебит отдельных скважин превышает 1000 т.

По начальным запасам газа выделяется месторождение *Рурд-Нус,* продуктивные горизонты которого представлены отложениями триаса (на глубине 1800 м), силура (2480 м) и кембро-ордовика (3300 м).

Небольшие проявления нефти раннепалеозойского возраста известны в Марокко.

Нижнепалеозойским считается наиболее крупное месторождение Австралии (газоконденсатное) *Мерини,* открытое в 1964 г. Продуктивны песчаники формации пакута кембро-ордовика, залегающие на глубине 1740–1662 м, и формации стейрвей ордовика на глубине 1398–2250 м. Общие запасы газа месторождения оценивались в 42 млрд. м^3.

В целом в капиталистических и развивающихся странах достоверные запасы нижнепалеозойской нефти составляют несколько процентов от суммарных запасов.

В СССР нижнепалеозойские залежи нефти и газа выявлены в Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Здесь продуктивны подсолевые терригенные отложения венда – нижнего кембрия и нижнекембрийские карбонатно-соленосные толщи.

В Тимано-Печорской провинции, где получены промышленные притоки нефти и газа из силурийских отложений, в разрезе палеозоя установлено наличие рифов и приуроченных к ним залежей нефти.

Ряд мелких месторождений нефти обнаружен в кембрийских отложениях Латвийской ССР и Калининградской области РСФСР.

ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ

Промышленные месторождения угля раннепалеозойского возраста неизвестны. В пределах СССР во флишевой зоне силура Средней Азии встречаются небольшие линзы тощего угля, а в силурийских отложениях, развитых на юго-восточном склоне Урала и на Урало-Тобольском водоразделе, отмечаются углисто-глинистые сланцы. Своеобразные углистые образования, известные под названием „антрасидов", развиты в силурийских отложениях Чехии. Вполне вероятно, что в ряде мест существовали достаточно благоприятные условия для угленакопления, но образовавшиеся в то время месторождения уничтожены после-

дующими процессами эрозии или в результате регионального и контактового метаморфизма преобразованы в месторождения аморфного графита. Нижнепалеозойскими считают, например, крупнейшие в мире месторождения аморфного графита в Южной Корее, которые обеспечивают значительную часть его мировой добычи.

Промышленное значение имеет ряд месторождений горючих сланцев раннепалеозойского возраста, особенно месторождения *Прибалтийского* бассейна в северо-западной части СССР. Этот бассейн занимает площадь около 50 тыс. км², в пределах которой продуктивные отложения среднего ордовика суммарной мощностью до 200 м делятся на четыре горизонта: эхиносферитовый, кукерский, итферский и иевский. Основной промышленный горизонт – кукерский – мощностью 16–22 м сложен глинистыми известняками, содержащими до 18–20 слоев горючего сланца мощностью от 0,02 до 1,3 м. Суммарная мощность промышленного пласта равна 1,6–3,3 м. Глубина залегания основного горизонта изменяется от 13 до 75 м, преобладает глубина 30–40 м. Качество сланцев характеризуется следующими средними показателями: влага 0,3––0,6%, зола – 44–60%, выход смолы на сухой сланец 17–24%, теплота сгорания 2000–3000 кал. Сланцы используются для получения горючего газа, жидкого топлива, энергического топлива и в качестве исходного продукта для химической промышленности. Геологические запасы горючих сланцев оцениваются в 24,5 млрд. т.

Горючие сланцы раннепалеозойского возраста широко развиты в северо-восточной части Сибирской платформы, где они занимают обширные территории в бассейнах рек Анабара, Оленека и Лены общей площадью более 150 тыс. км². Свита горючих сланцев мощностью от 6 до 90 м содержит фауну ленского яруса нижнего кембрия и амгинского яруса среднего кембрия. Число продуктивных пластов и их мощность резко изменяются. Средняя суммарная мощность пластов и прослоек горючих сланцев составляет около 1,5 м. Горючие сланцы обычно отличаются низкой калорийностью, и только сланцы, залегающие на небольшом участке по р. Оленек, представляют практический интерес.

УРАН

К крупным источникам урана раннепалеозойского возраста относятся верхнекембрийские битуминозные диктионемовые сланцы, широко распространенные в Ш в е ц и и. Это морские образования, и урановое оруденение в них считается сингенетичным. Содержание урана в сланцах обычно не превышает 0,01%, и только в отдельных линзах или слоях, представленных углеподобным веществом и получивших название „кольм", оно повышается до 0,5%. В районе *Беллинген-Фальбюгден* наиболее богатые пласты, распространенные на площади около 500 км², содержат в среднем 0,03% урана при средней мощности пластов 3 м. Из сланцев, содержащих 0,02–0,03% урана, получают концентраты с содержанием 10% урана. В районе *Эребру* пласты сланцев мощностью 5–6 м с содержанием урана 0,02% разрабатываются для производства нефти

(выход около 5%). Попутно получается урановый концентрат с содержанием урана до 20%.

Общие запасы битуминозных сланцев Швеции оцениваются в 30 млрд. т, а запасы урана в них – в 6,3 млн. т. Однако, несмотря на огромные запасы, практическое значение битуминозных сланцев даже при комплексном их использовании пока невелико.

Условно рентабельные к отработке запасы подсчитаны в размере 300 тыс. т урана (U_3O_8) при содержании 0,03%. К ним относятся запасы богатых участков месторождения *Ранстад*, в которых содержание урана от 0,03 до 0,068%; общие же его ресурсы оцениваются в 850 тыс. т. В 1977 г. определились контуры еще одного месторождения с общими ресурсами в 425 тыс. т U_3O_8 при его содержании в сланцах 0,034%. Добыча урана в стране пока носит опытный характер (100–150 т урана в год).

В Финляндии установлены урано-апатитовые проявления в горизонтах среднекембрийских пород, а также жильные и скарновые образования.

Ураноносны кембрийские сланцы *Саламанки* (Испания), в которых содержание U_3O_8 составляет 0,09%. Производство урана из этих сланцев в 1980 г. достигло 170 т по содержанию его в концентрате.

ЖЕЛЕЗО

Месторождения железных руд раннепалеозойского возраста встречаются во многих странах мира, но удельный вес их в мировых запасах и добыче сравнительно невелик. Наиболее крупные месторождения этого возраста известны в Северной Америке. К ним относятся месторождение Уобана, расположенное в северо-восточной оконечности Канадского щита, в провинции Ньюфаундленд (Канада), и месторождения Бирмингемского района в штате Алабама (США).

Оруденение месторождения *Уобана* в Канаде приурочено к верхам нижнеордовикской толщи песчаников и глинистых сланцев мощностью 360 м. Рудные залежи и пласты залегают согласно с вмещающими их породами, отличаются тонкозернистым оолитовым строением и часто полосчатой текстурой. Они состоят из шамозита, гематита, сидерита и пирита, которые присутствуют в различных соотношениях. Среднее содержание Fe в рудах составляет 50–52%, CaO–3,13%, Al_2O_3 – 4,5%, содержание SiO_2 достигает 12%, S – 0,6%, P – 0,8%. Промышленная рудоносность установлена на площади 9 км², и, кроме того, около 200 км² рудоносной площади находится под дном моря. Общие запасы железных руд месторождения, по оценке различных авторов, колеблются от 4 млрд. до 20 млрд. т. Достоверные запасы составляют 2 млрд. т. Руды типа Уобаны имеются также в провинции Альберта.

Эти руды большинством исследователей относятся к первичным мелководным морским осадочным отложениям, сингенетичным вмещающим их породам ордовика. В пользу этого предположения свидетельствуют минеральный состав руд, наличие в них органических остат-

ков и оолитовая текстура, при которой шамозит и гематит образуют концентрические зоны вокруг обломков раковин и кварца. Источниками железа служили разрушавшиеся докембрийские и кембрийские породы, из которых железо растворялось минеральными и органическими кислотами и выносилось реками в море.

В последнее время некоторые исследователи высказывают сомнения по поводу осадочного происхождения руд Уобаны и склонны считать их метасоматическими образованиями, сформировавшимися под воздействием магматических растворов, богатых железом. Об этом, по их мнению, свидетельствуют обнаруженные в ряде случаев дайкоподобные рудные тела, секущие вмещающие осадочные породы, а также наличие в рудах высокотемпературных минералов – железного блеска и пирротина.

Значительные запасы железных руд (0,9–2 млрд. т) сосредоточены в месторождениях *Бирмингемского* района С Ш А. Железные руды распространены на большой площади (120 х 65 км) и приурочены к отложениям клинтонской формации силура, представленным глинистыми сланцами и песчаниками с подчиненными им железистыми известняками. Осадочные отложения смяты в складки, осложнены разрывами и заключают четыре рудных пласта, из которых два мощностью от 2 до 6 м имеют промышленное значение. Руды, представленные в основном гематитом оолитового сложения, содержат в среднем 35% железа. Меньше развиты бурые железняки, в которых содержание железа составляет 47%.

Несмотря на значительные запасы руд, по которым Бирмингемский район занимает в США второе место, на непосредственную близость месторождений коксующихся углей, доломитов и флюсовых известняков, а также на расположение в районе крупнейших металлургических заводов, на долю этого района приходится лишь около 8% общей добычи железных руд в стране. Это объясняется невысоким качеством руд, которые к тому же могут разрабатываться в основном подземным способом. Аналогичные железные руды, связанные с отложениями клинтонской формации, известны также в штатах Теннесси и Джорджия.

С отложениями нижнего палеозоя связан также ряд небольших месторождений железных руд в Южной Америке, в частности осадочные месторождения А р г е н т и н ы, заключенные в песчаниках ордовика.

Некоторые исследователи относят к кембрийскому или силурийскому возрасту месторождения оолитовых гематитовых руд, широко распространенные в Ю ж н о й А ф р и к е.

Небольшие месторождения железных руд известны в К Н Д Р, где они приурочены к формации великого известняка (кембро-силур) и представлены осадочными гематит-магнетитовыми рудами.

Нижнепалеозойские железорудные месторождения широко распространены в Западной Европе, но все они характеризуются мелкими масштабами и низким качеством руд. К ним относятся месторождения Ч е х о с л о в а к и и (*Научице*), залегающие в аренит-лландейльских кварцитах и граувакках, осадочные месторождения И т а л и и (о-в Сарди-

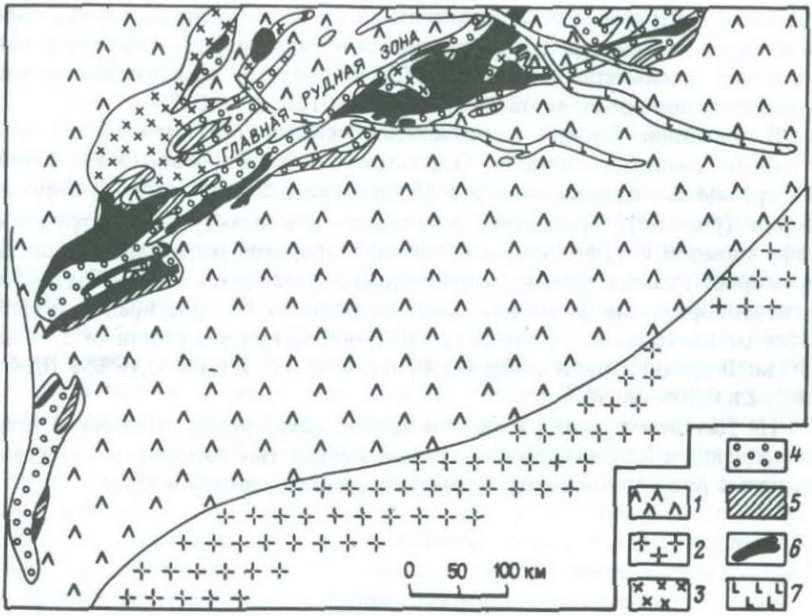


Рис. 39. Геолого-литологическая карта Шалымского железорудного месторождения:

1 – альбитофиры; *2* – сиениты; *3* – сиенит-порфиты; *4* – скарны безрудные; *5* – скарны рудные; *6* – руды магнетитовые; *7* – диабазы

ния, Альпы) и Португалии. Многочисленные осадочные месторождения, приуроченные к отложениям кембрия и силура, известны в северо-западной части Испании, где они представлены гематит-лептохлоритовыми рудами. Во Франции с верхнеордовикскими и нижнесилурийскими отложениями Нормандии, Бретании и Анже связаны оолитовые шамозит-гематитовые руды. Мало интересны в практическом отношении многочисленные нижнепалеозойские месторождения железных руд Норвегии (Дундерланд, Заланген и др.), приуроченные к свите гранат-слюдяных сланцев и к мощной толще мраморов с подчиненными ей конгломератами, кварцитами и филлитами кембро-силура; крупное месторождение Зидварангер с запасами железных руд около 1 млрд. т, по-видимому, относится к докембрийскому возрасту.

В СССР железорудные месторождения раннепалеозойского возраста встречаются сравнительно редко. К ним относится небольшое месторождение *Абаил* в Южном Казахстане, приуроченное к зоне крупного разлома, секущего известняки и сланцы кембро-силура. Оруденение в форме небольших линзообразных залежей прослеживается вдоль разлома на протяжении более 2,5 км. Первичные сидеритовые руды, заключающие больше половины разведанных промышленных запасов месторождения, содержат в среднем Fe 36,9%, S 0,37%, P 0,022% и As

0,01%. Сидеритовые руды в значительной степени окислены и превращены в бурые железняки (гидрогетитовые и турьитовые). Глубина зоны окисления колеблется от 20 до 175 м. Средний химический состав бурых железняков: Fe 48,6%, S 0,023%, P 0,014%, As 0,032%.

В Западной Сибири с раннекаледонскими (кембрийскими) интрузиями сиенитов связаны отдельные контактово-метасоматические месторождения магнетитовых руд (*Шалымское, Шерегешевское*) Горной Шории (рис. 39). Оруденение приурочено к контакту этих интрузий с эффузивными и туфогенно-осадочными породами, содержащими линзы мраморов. Рудные залежи месторождений отличаются линзообразными и гнездообразными формами. Протяженность их по простиранию колеблется от нескольких десятков до 500–600 м при мощности от 5–7 до 150 м. В среднем руды содержат Fe 43,4–45,1%, S 0,04–0,18%, P 0,14–0,6%, Zn 0,005–0,036%.

На Дальнем Востоке к лондоковской свите нижнего кембрия приурочен ряд небольших месторождений железистых кварцитов и марганцовистых руд (*Кимканское, Сутарское, Костеньгинское* и др.).

МАРГАНЕЦ

Марганец мало характерен для раннепалеозойской эпохи. Сравнительно небольшие промышленные месторождения марганца этого возраста известны в КНР, США и в восточных районах СССР. Почти все они приурочены к окраинам докембрийских платформ и представлены преимущественно осадочно-метаморфизованными рудами. Возможно, что к раннему палеозою принадлежит ряд месторождений Южной Африки, отнесенных нами условно к докембрийской эпохе, так как данные для достоверного решения этого вопроса отсутствуют.

В К Н Р известны нижнепалеозойские месторождения марганца осадочного типа. К числу наиболее крупных из них, по-видимому, относится месторождение Шаньвуту, расположенное в провинции Хунань. Марганцевые руды в форме пластов согласно задегают среди известняков, песчаников и сланцев силурийского возраста. Мощность отдельных пластов невелика и в среднем обычно не превышает 1 м. Основные рудные минералы представлены псиломеланом и пиролюзитом. Первичные руды характеризуются сравнительно низким содержанием марганца. Наибольший интерес представляют участки вторично обогащенных руд, в которых среднее содержание марганца колеблется от 43,2 до 46,7% и кремнезема от 8,2 до 11,9%.

В С Ш А известны только небольшие месторождения собственно марганцевых руд, наиболее значительные и богатые из них сосредоточены в штате Арканзас. Первичное марганцевое оруденение распростра-

нено здесь на сравнительно большой площади и приурочено к известнякам и сланцам ордовика. Оно проявлено в форме желваков и мелких (мощностью до 0,8 м) линз родохрозита в сланцах или в виде более крупных (мощностью до 2,7 м) линзообразных тел, залегающих в кровле известняков и состоящих из родохрозита и гаусманита с незначительным количеством браунита и силикатов марганца.

Наибольшее практическое значение имеют развитые здесь вторичные месторождения марганца, представленные остаточными глинами – продуктами разложения марганценосных сланцев – с обломками окисленной руды, состоящей из псиломелана, гаусманита и пиролюзита. Форма и размеры рудных залежей меняются в широких пределах и зависят от формы поверхности подстилающих их известняков. Местами мощность остаточных глин достигает нескольких десятков метров.

Марганцевые руды этого района считаются в США наиболее высококачественными. Среднее содержание в них марганца достигает 46–48%.

В СССР месторождения марганца раннепалеозойского возраста известны в Кузнецком Алатау, где они приурочены к толще кембрийских карбонатных и глинисто-кремнистых пород, прорванных многочисленными дайками диабаза. Первичноосадочные породы, особенно их карбонатные разности – известняки и доломиты, почти всегда содержат в переменных количествах марганцевые минералы. Рудные прослои макроскопически неотличимы от безрудных и выделяются только по данным химических анализов: к рудным горизонтам относятся карбонатные породы с содержанием марганца 10% и более. Залежи таких пород отличаются пластообразной формой и крутым падением. Длина их нередко превышает 1000 м при мощности в несколько десятков метров.

По минеральному составу здесь выделяются два основных типа руд: родохрозитовые и манганокальцитовые. В подчиненном количестве развиваются силикатно-карбонатные руды. Родохрозитовые руды имеют облик тонкополосчатых яшм и состоят из тонкодисперсного агрегата кальциевого родохрозита, лептохлорита и кварца. В качестве примеси постоянно присутствуют углистое вещество и пирротин, реже пирит. Манганокальцитовые руды по внешнему виду неотличимы от вмещающих известняков и представлены карбонатами изоморфного ряда кальцит – манганокальцит, кварцем, а также кремнистыми прослоями. В богатых разностях присутствуют в незначительных количествах родохрозит и лептохлорит. В верхних горизонтах Усинского месторождения, в среднем до глубины 40 м, развиты окисленные руды. Обычно они представлены псиломелановыми разностями. Реже встречаются вернадитовые и пиролюзитовые руды. В окисленных рудах среднее содержание марганца составляет 26,9%, железа 8,6%, фосфора 0,27%, серы 0,05% и кремнезема 25,3%.

К кембрийскому возрасту относится также железо-марганцевое оруденение Малого Хингана на Дальнем Востоке.

ХРОМ

Промышленные месторождения хромитов раннепалеозойского возраста неизвестны.

Более или менее достоверно можно считать нижнепалеозойскими месторождения хромитов Норвегии. Здесь в районе Тронхейма известно около 40 мелких месторождений хромитов, пространственно и генетически связанных с раннекаледонскими ультраосновными интрузиями. Руды содержат в среднем 25–35% оксида хрома и разрабатываются в ничтожных масштабах. В литературе имеются указания на открытие новых месторождений хромовых руд восточнее Ророса.

Мелкие месторождения хромитов раннепалеозойского возраста известны также в Канаде, но практического значения они, по-видимому, не имеют.

АЛЮМИНИЙ (БОКСИТЫ)

Месторождения бокситов рифей-раннепалеозойского возраста известны только в пределах азиатской части континента. В СССР к ним относят *Боксонское* месторождение в Восточной Сибири, которое приурочено к карбонатной, преимущественно доломитовой свите рифей-раннекембрийского возраста, залегающей на туфогенно-осадочной нижнепротерозойской толще.

Пласт бокситов протягивается на десятки километров, залегает на неровной карманообразной поверхности доломитов и перекрывается сланцами, песчаниками и доломитами. Нижняя часть пласта сложена красными бокситами, верхняя – зелеными. Бокситы отличаются значительным содержанием алюмосиликатов, с которыми связан практически весь кремнезем. Около половины всего глинозема, заключенного в бокситах, находится в форме моногидратов – диаспора и бемита. Остальная часть глинозема связана с силикатами, хлоритом, пирофиллитом и др.

По мнению Е. П. Бессолицына, эти бокситы образовались в раннекембрийское время в окраинной зоне геосинклинали, окаймлявшей Сибирскую платформу. Они представляют собой химические осадки, накопленные в период временной регресси моря, которая сопровождалась отшнурованием от открытого бассейна типа мелководного залива, лагуны или обширных прибрежных озер и болот.

МЕДЬ

Промышленные месторождения меди раннепалеозойского возраста встречаются сравнительно редко, и удельный вес их в мировых запасах и добыче меди незначителен. К этому возрасту относятся средние по

масштабу медноколчеданные месторождения Норвегии (*Сулительма, Леккен, Ророс, Бьорказен, Гронг, Каллингдаль, Фоллаль* и др.), генетически связанные с проявлениями каледонской интрузивной деятельности. Рудные залежи их имеют линзообразную форму и характеризуются сравнительно небольшой мощностью (1–4 м) нередко при значительной протяженности (до 3 км).

Общие запасы меди Норвегии составляют 900 тыс. т, а доказанные – 600 тыс. т при содержании меди в рудах 0,7–2,1%. Годовая добыча меди в последнее время находится на уровне 28 тыс. т. Вместе с медью добываются цинк и серный колчедан, содержание которого в рудах ряда месторождений составляет 70–75%.

Возможно, что к раннепалеозойскому возрасту относится ряд небольших медноколчеданных месторождений Австралии. Некоторые исследователи связывают их образование с каледонскими гранитными интрузиями.

К нижнему палеозою относятся многочисленные медноколчеданные месторождения острова Ньюфаундленд в Канаде, приуроченные к вулканогенно-осадочным породам вендско-кембрийского возраста. Руды характеризуются комплексным составом. Так, сплошные пирит-сфалерит-халькопирит-пирротиновые руды месторождения *Рамблер* содержат цинка 2,16%, меди 1,3%, золота 4,3 г/т и серебра 24 г/т.

Нижнепалеозойскими, вероятно, являются медноколчеданные месторождения, выявленные недавно в северной части Британской Колумбии в пределах тектонического пояса Оминека. В районе Годстрим разведано месторождение с запасами руд 3,2 млн. т, содержащих 4,49% меди, 3,24% цинка и 21,2 г/т серебра. Оно представлено стратиформной залежью в филлитах нижнекембрийского возраста. К югу от месторождения обнаружены многочисленные рудопроявления, часть которых локализуется в нижнекембрийских известняках и мраморах.

В пределах СССР с каледонским магматизмом генетически связано штокверковое медное оруденение, приуроченное к диорит-порфиритам, плагиогранит-порфирам и порфиритам спилитовой свиты нижнего кембрия в Центральном Казахстане. Рудные залежи имеют пластообразную форму с почти ровной верхней границей и неровной нижней. Верхняя часть рудных залежей представлена окисленными рудами, глубина распространения которых достигает 30 м. Зона выщелачивания носит невыдержанный характер. Часто выщелачивание выражено в незначительном обеднении охристых руд, но иногда оно проявляется более интенсивно, и зона таких руд достигает мощности нескольких десятков метров. Зона вторичного сульфидного обогащения сохранилась только на одном участке. Первичные руды содержат пирит, халькопирит, магнетит, борнит, молибденит, сфалерит, галенит, золото, халькозин и ковеллин. Нерудные минералы представлены баритом и кварцем.

Нижнепалеозойскими, возможно, являются и некоторые медноколчеданные месторождения Урала, но бóльшая часть образовалась позднее и связана с герцинским магматизмом. К контактовой зоне каледон-

ских интрузий граносиенитов с нижнекембрийскими мраморизованными известняками приурочены скарновые рудопроявления меди в Кузнецком Алатау.

НИКЕЛЬ, КОБАЛЬТ

Промышленные месторождения никеля раннепалеозойского возраста известны только на северо-западе Европы. К ним предположительно относятся месторождения медно-никелевых сульфидных руд Южной Норвегии (*Рингерих* и др.). Известные здесь многочисленные, но сравнительно мелкие месторождения сульфидных руд пространственно и генетически связаны с каледонскими интрузиями габбро и норитов. Рудные залежи в форме небольших линз, часто чечевицеобразных, или в виде жил залегают в самих интрузивах или во вмещающих их раздробленных сланцах. Рудные минералы представлены пентландитом, халькопиритом, магнетитом и пирротином. Среднее содержание никеля в рудах составляет 0,5–0,8%, меди 0,9% и благородных металлов около 4г/т. Данные о запасах никеля отсутствуют, но, вероятно, они не превышают нескольких десятков тысяч тонн.

С каледонскими интрузиями габбро в Норвегии связан ряд месторождений собственно кобальтовых сульфидных руд (*Скуттеруд, Снарум* и др.). Вкрапленные руды образуют здесь полосы (фальбанды) в докембрийских кварцитах и роговообманковых сланцах вблизи их контакта с габбро. Рудные минералы представлены кобальтином и смальтином, скуттерудитом, данаитом, пиритом, пирротином, халькопиритом, арсенопиритом и молибденитом. Широко развиты в рудах турмалин и мусковит. В обогащенных участках содержание кобальта достигает 3%.

СВИНЕЦ, ЦИНК, СЕРЕБРО

Промышленные месторождения свинца, цинка и серебра раннепалеозойского возраста встречаются редко.

В зарубежных странах заслуживает внимания месторождение Боудвин в Бирме, условно отнесенное к этому возрасту. Оруденение здесь приурочено к толще эффузивных образований, представленных риолитовыми туфами, брекчиями и лавами, и контролируется крупным сбросом и сопряженными с ним более мелкими зонами тектонических нарушений. Выше эффузивной толщи залегают фаунистически охарактеризованные ордовикские и силурийские сланцы, известняки верхнего силура – карбона, юрские песчаники, а также позднетретичные и четвертичные отложения речных террас. Основная рудная залежь месторождения протяженностью свыше 1000 м расчленена поперечными сбросами на ряд отдельных тел, представленных массивными и вкрапленными рудами (рис. 40). Наиболее богатое из них – среднее рудное тело *Чайнамен* мощностью более 15 м.

Главные рудные минералы месторождения представлены галенитом, сфалеритом и халькопиритом. В подчиненных количествах присутствуют пирит, никель-кобальтовые минералы, блеклые руды и сульфосоли серебра. Из жильных минералов наиболее распространены кварц, полевые шпаты, серицит и карбонат, а вблизи поверхности встречается барит.

Месторождение относится к гидротермально-метасоматическому типу. Выделение минералов происходило примерно в такой последовательности: кварц, серицит, пирит, арсенопирит, леллингит, герсдорфит, карбонат, сфалерит, кубанит, халькопирит, тетраэдрит, галенит, бурнонит, буланжерит, пираргирит. В глубоких горизонтах северной части месторождения наблюдается замещение свинца медью и повышение содержания никеля и кобальта.

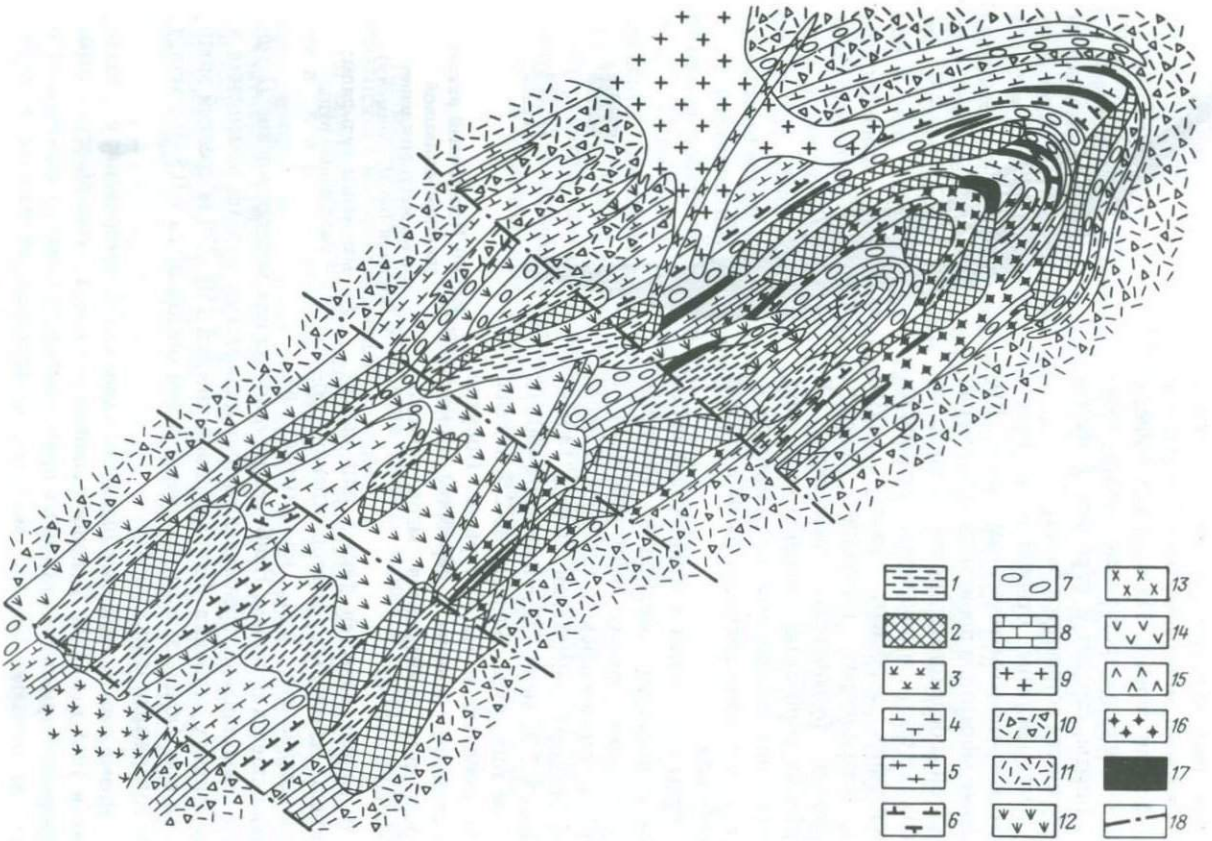
Руды отличаются комплексным составом и высоким содержанием металлов. Достоверные запасы месторождения в 1965 г. оценивались в 6,3 млн. т руды при среднем содержании свинца 14,8 %, цинка 8,2 %, меди 1,0 % и серебра 490 г/т. Кроме того, руда содержит до 2 % никеля, 1 % кобальта и 1,7 % сурьмы. Попутно со свинцом, цинком и серебром на месторождении добываются медь, никель, кобальт и сурьма.

Рис. 40. Поперечный разрез свинцово-цинковой залежи месторождения Боудвин *(по М. Ловмену)*:

1 – массивные сульфиды;
2 – рассеянные руды

В Бирме известен также ряд недостаточно изученных месторождений полиметаллических руд, но возраст их пока остается неясным. Наиболее крупное из них месторождение *Лоуфкенг* представлено преимущественно цинковыми рудами замещения в известняках ордовика. Длина рудных залежей 150–270 м средней мощности 6 м. Общие запасы руд цинка в нем оцениваются в 0,5–0,7 млн. т при содержании цинка до 40 %.

Возможно, к нижнему палеозою относится формирование выявленного в 1965 г. в С Ш А нового свинцового пояса – *Нью-Миссури*, стратиформное оруденение которого приурочено к доломитам верхнего кембрия мощностью 65–135 м. Предположительно он отнесен к верх-


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18

нему палеозою по аналогии с издавна известным в штате Миссури свинцовым поясам, расположенным в 80 км от него.

В СССР к раннепалеозойскому возрасту относят полиметаллические месторождения Салаирского и Урского рудных районов в Западной Сибири. Руды этих месторождений приурочены к комплексу эффузивно-осадочных пород печеркинской формации нижнего кембрия. Линзообразные, обычно крутопадающие рудные залежи представлены преимущественно цинковыми и медно-цинковыми рудами, в которых основными рудными минералами являются пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, блеклая руда и арсенопирит.

В Западном Саяне полиметаллическое оруденение приурочено к нижнекембрийской эффузивно-туфовой толще среднего и кислого состава и связано с региональной зоной разлома. Вдоль этой зоны широко развито гидротермальное изменение вмещающих пород – окварцевание, хлоритизация, серпентинизация и карбонатизация. Рудные тела распространены в мощной зоне брекчированных, рассланцованных серицит-, карбонатно-, хлорит-кварцевых пород.

На расположенном здесь полиметаллическом месторождении *Кызыл-Таштыг* выявлено 47 рудных тел, из которых 29 представлены полиметаллическими рудами, 9 медными и 9 серноколчеданными. Главные рудные минералы – сфалерит и пирит, второстепенные – галенит, халькопирит и блеклые руды. Из нерудных наиболее распространены кварц, хлорит, доломит, барит и серицит.

К раннепалеозойскому возрасту относятся месторождения и проявления полиметаллического оруденения в терригенно-карбонатных отложениях ордовика, развитых в северных районах европейской части СССР (*Саурейское* и др.) и в нижнепалеозойских карбонатных породах Ульканской и Лено-Тонгодинской рудных зон в Западном Прибайкалье (*Луговое, Барвинское* и др.).

Колчеданно-полиметаллические месторождения развиты также в нижнекембрийских вулканогенно-осадочных комплексах Западного Забайкалья (рис. 41). Перспективной областью развития стратиформного оруденения является Якутская АССР, где в нижнекембрийских карбонатных формациях (Кыллахской и Юдомо-Майской структурно-фациальных зонах) хр. Сетте-Дабан выявлены месторождения *Сардана, Уруй* и др.

Рис. 41. Схематическая геологическая карта и разрезы месторождения Озерного *(по А. Филько, И. Бабкину, Р. Тарасовой)*:

1 – кора выветривания; *2* – бурые железняки; *3* – разнообломочные туфы смешанного и среднего состава; *4* – разнообломочные туфы кислого состава; *5* – углистые сланцы с туфами, туффитами и известняками; *6* – разнообломочные туффиты; *7* – известковые брекчии с туфовым материалом; *8* – известняки; *9* – эруптивные брекчии кварцевых порфиров; *10* – кварцевые порфиры; *11* – дацитовые порфиры; *12* – зеленокаменноизмененные диабазы; *13* – сиенит-порфиры; *14* – миндалекаменные диабазовые порфиры; *15* – лейкократовые диабазовые порфириты; *16* – сидеритовые руды; *17* – колчеданные свинцово-цинковые руды; *18* – разрывные нарушения

В Западном Прибалхашье в Сарытумской зоне в последнее время выявлено несколько полиметаллических проявлений, приуроченных к зонам дробления в песчаниках и сланцах кембрия.

ОЛОВО, ВОЛЬФРАМ

Месторождения олова и вольфрама нехарактерны для раннепалеозойской эпохи рудообразования и редко встречаются в породах этого возраста. В С С С Р к ней относится разведанное в последнее время *Богутинское* вольфрамовое месторождение в Южном Казахстане. Шеелитовое штокверковое оруденение его развито в пределах экзоконтакта гранитного массива среди терригенных образований среднего ордовика, в состав которых входят конгломераты, песчаники и углистые сланцы с прослоями и линзами кремнистых пород и известняков (рис. 42).

Промышленная оловоносность и рудопроявления вольфрама, генетически связанные с нижнепалеозойскими калиевыми, иногда турмалиновыми гранитами, известны также на побережье Тихого океана (рис. 43). С гранитами этого этапа развития, возможно, связаны оловянно-вольфрамовые месторождения северо-восточных районов К Н Р.

С нижнепалеозойскими гранитами (550–435 млн. лет) пространственно и генетически связано оловянное оруденение преимущественно грейзенового и кварцевого типа, широко проявленное в Северной Нигерии.

В С Ш А с гранитами штата Северная Каролина, возраст которых датируется от позднего докембрия до раннего палеозоя (620–520 лет), связывается широкое проявление вольфрамитоносных кварцевых жил. Наиболее крупная жила месторождения *Квин* прослеживается по простиранию на 3500 м, мощность ее – от 0 до 10 м. Основной рудный минерал – гюбнерит, сопровождаемый вкрапленниками пирита, сфалерита, галенита и халькопирита.

К раннему палеозою, вероятно, относятся месторождения вольфрама А в с т р и и, приуроченные к ордовикской метаморфической толще Каринтии в Восточном Тироле. Они представлены серией стратиформных залежей в графитистых сланцах и амфиболитах с прожилковой минерализацией (шеелит, сульфиды меди, молибдена, сурьмы, висмута, ртути с примесями золота и серебра). Общие их запасы WO_3 составляют 20 тыс. т при его содержании в руде 0,65%. Разрабатывается месторождение *Миттерзилль* с примерной годовой производительностью 1,5 тыс. т WO_3 в концентрате.

МОЛИБДЕН

Промышленное молибденовое оруденение раннепалеозойского возраста известно только в С С С Р, в Восточной Сибири, где оно связано с магматической деятельностью салаирской фазы складчатости. Минерализация проявлена в форме кварцевых жил и брекчированных штокверково-вкрапленных участков, приуроченных к зонам тектонических

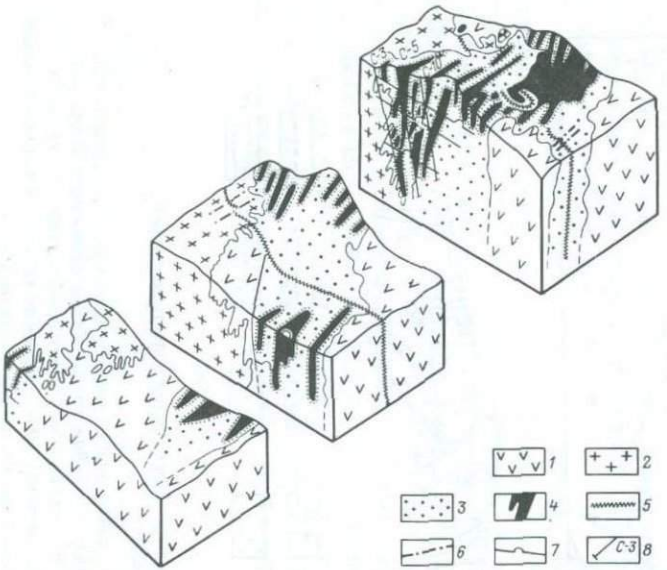


Рис. 42. Блок-диаграммы Богутынского месторождения
(по Г. Н. Щербе, Б. А. Салину и др.) :
1 – песчаники; *2* – граниты; *3* – рудные тела; *4* – руды с повышенным содержанием вольфрама; *5* – послерудные дайки; *6* – тектонические нарушения; *7* – горизонты штолен; *8* – скважины

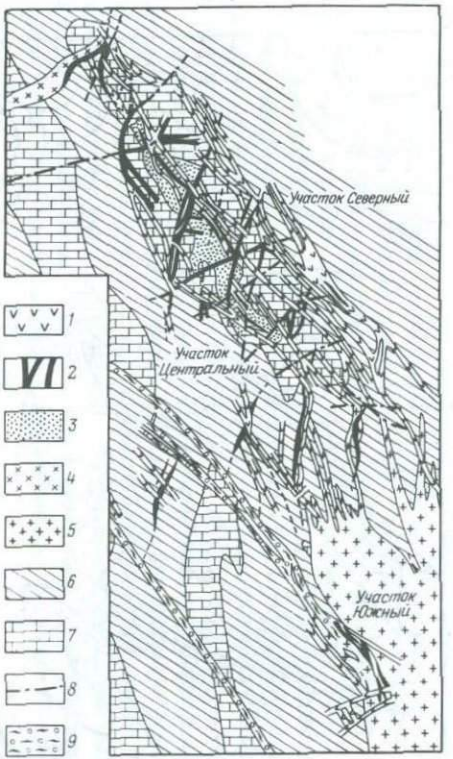


Рис. 43. Схематическая геологическая карта Ярославского оловорудного месторождения
(по Ю. Г. Иванову, М. П. Материкову и Е. И. Тыменику) :
1 – порфириты; *2* – рудные тела; *3* – скарны; *4* – гранит-порфиры; *5* – граниты; *6* – алевролиты и песчаники верхнего горизонта; *7* – известняки; *8* – тектонические разрывы; *9* – мощные зоны дробления

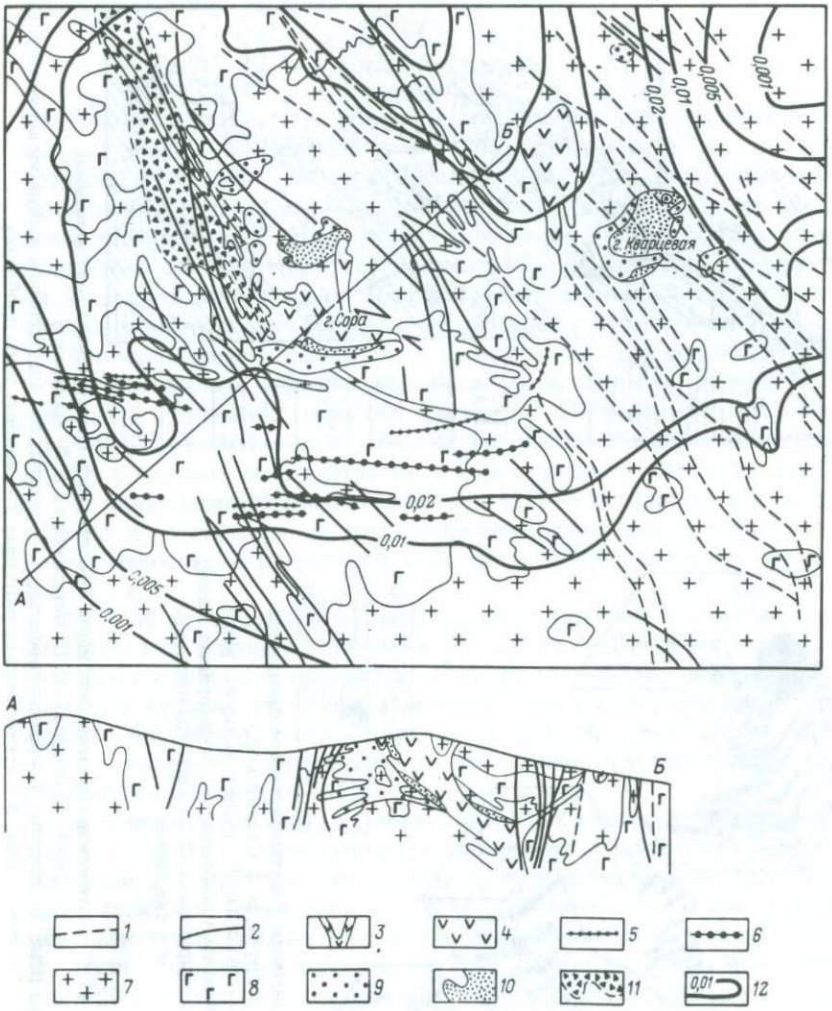


Рис. 44. Схема геологического строения Сорского месторождения *(по В. Т. Покалову)* :

1 – дайки ортофиров; *2* – дайки диабазовых порфиритов; *3* – субщелочные кварцсодержащие порфиры; *4* – субщелочные кварцсодержащие порфиры; *5* – дайки спессартитов; *6* – дайки диоритовых порфиритов; *7* – граниты; *8* – диориты; 9 – полевошпатовые тела; *10* – кварцевые тела; *11* – рудная брекчия; *12* – изолинии содержаний молибдена

нарушений в самих интрузивных породах. В зоне первичных руд развиты молибденит, пирит, халькопирит, реже сфалерит и галенит. Среди нерудных минералов наблюдаются кварц, ортоклаз, флюорит и карбонаты. В зоне окисления преобладают ферримолибдит, повеллит, гидроокислы железа и вторичные минералы меди.

Наиболее детально изучено *Сорское* месторождение, расположенное в восточных отрогах Кузнецкого Алатау. Рудоносными до глубины 1000 м являются лейкократовые граниты, среди которых залегает несколько даек пегматитов и гранит-порфиров. Гранит-порфиры и лейкократовые граниты местами раздроблены и сцементированы кварцем, полевым шпатом, флюоритом (рис. 44).

На месторождении выделено пять обогащенных молибденом штокверковых участков, разобщенных слабоминерализованными породами. Основные объемы богатых руд и наиболее высокие содержания молибдена установлены в зоне брекчий и кварцевых жилах. Кроме молибдена руды содержат медь. Текстура штокверковых руд мелкопрожилковая. Реже молибденит образует вкрапленность и гнезда в самих породах.

БЕРИЛЛИЙ, ЛИТИЙ, ТАНТАЛ, НИОБИЙ

Промышленные месторождения этих металлов раннепалеозойского возраста встречаются крайне редко. К ним относятся месторождения редкометалльных пегматитов и карбонатитов в СССР, а также, возможно, карбонатитов Норвегии и Швеции.

Месторождения карбонатитов Восточной Сибири приурочены к региональному разлому, контролирующему контакт кварцево-сланцевых пород протерозоя с базальными конгломератами кембрия. Наиболее изученный массив карбонатитов имеет эллипсовидную форму и окаймляется с севера, востока и юго-востока ийолитами, с запада – сланцами протерозоя и с юга – нефелиновыми сиенитами. Все вмещающие породы пронизаны жилами и линзами карбонатитов. Основной породообразующий минерал карбонатитов – кальцит, в меньшем количестве в них присутствуют флогопит, актинолит, пироксен, магнетит, апатит, пирохлор и минералы редких земель группы бастнезита. Встречаются также сфалерит, галенит, халькопирит и марказит.

ЗОЛОТО

Промышленные месторождения золота, сформированные в раннепалеозойскую эпоху рудообразования, встречаются крайне редко и, судя по геологической литературе, в зарубежных странах неизвестны. Возможно, что некоторые месторождения Северной и Южной Америки и Южной Африки, заключенные в докембрийских породах, а также ряд месторождений, залегающих среди нижнепалеозойских отложений, связаны с гранитными интрузиями нижнего палеозоя, но для однозначного решения этого вопроса нет достоверных данных.

В пределах СССР к раннепалеозойской эпохе рудообразования относится бóльшая часть золоторудных проявлений Кузнецкого Алатау. Оруденение здесь выражено в форме трещинных золото-кварцевых жил, реже в форме штокверков, которые почти повсеместно пространственно тяготеют к гранитоидам таконской фазы складчатости. В большинстве случаев золоторудные месторождения ассоциируют с небольшими сателлитами, связанными на глубине с крупным плутоном батолитового типа, или приурочены к эндоконтактам более значительных выступов крупных массивов. Реже золотая минерализация встречается в экзо- и эндоконтактовых зонах плутонов, преимущественно в районах развития широких зон контаминации и гибридных пород.

С нижнепалеозойскими проявлениями магматизма генетически связаны также месторождения золота Горной Шории, Западного и Восточного Саяна, Горного Алтая и Южного Урала.

В северной части Казахстана с таконскими интрузиями гранодиоритов генетически связан ряд кварцевожильных и штокверковых золоторудных зон. Другая часть месторождений этого района обусловле . внедрением малых интрузий диоритов и кварцевых диоритов Степнякского комплекса, который предположительно датируется девоном. Рудные жилы и зоны залегают преимущественно среди эффузивно-осадочных пород ордовика и контролируются мощными разрывными нарушениями, особенно узлами пересечения разломов различного направления.

К таконской фазе каледонского магматизма относятся золоторудные проявления в отложениях кембрия и ордовика Северо-Восточного Казахстана, а с дайками диоритов и сиенитов верхнего силура предположительно связаны некоторые месторождения золота на Южном Урале.

ФОСФОР

Основные месторождения фосфоритов раннепалеозойского возраста сосредоточены в СССР, Монголии, КНР и США. Формирование их началось в кембрийский период в геосинклинальных областях и краевых прогибах и привело к образованию плотных (массивных) руд Каратауского бассейна в СССР, Хубсугульского в Монголии, Джорджина в Австралии и месторождений провинции Юньнань и других в КНР. С ордовикской трансгрессией связано образование месторождений фосфоритов в штатах Теннесси, Арканзас и Кентукки в США, а также зернисто-ракушечниковых фосфоритов на территориях Русской (месторождения Прибалтики и Ленинградской области) и Сибирской (район Подкаменной Тунгуски) платформ.

В СССР на долю фосфоритов раннепалеозойского возраста приходится 32% общих запасов и около 16% добычи фосфатного сырья в стране. Фосфориты Каратау в Казахской ССР, приуроченные к известняково-доломитовым отложениям, выделены в особую фосфоритную свиту пород раннекембрийского возраста, мощность которой дости-

гает 70–75 м. Она представлена чередующимися пластами высококачественных фосфоритов, слабо фосфатизированных кремнистых сланцев и кремней и фосфатно-карбонатных пород и занимает промежуточное положение между каройской (венд) и тамдинской (E_1) сериями. В основании фосфоритной серии располагается горизонт „нижних доломитов" (3–20 м), залегающий на размытой поверхности кремнистых сланцев и песчаников каройской серии. Перекрывается фосфоритная серия известково-доломитовыми породами мощностью до 3000 м и четвертичными отложениями мощностью до 30 м.

Фосфоритные пласты, количество которых колеблется от одного до семи, представляют собой массивные или грубослоистые породы, которые в основном образованы мелкими (0,05–0,2 мм) фосфатными зернами или оолитами, сцементированными фосфатно-карбонатно-кремнистым цементом. В них присутствуют также кальцит, доломит, халцедон, кварц, окислы железа, пирит и другие минералы. Редко встречаются конкреционные фосфориты, а также фосфоритные конгломераты с известковистым или фосфатным цементом. Среднее содержание P_2O_5 в фосфоритах 25–30% (в отдельных участках – 35% и более), в карбонатных и кремнистых фосфоритах – менее 25%. Среднее содержание полуторных оксидов 2,0–2,5%, редко 3,5%. В некоторых месторождениях Каратау, в связи с внедрением гранитов, вызвавших интенсивный метаморфизм близлежащих пород, произошла полная перекристаллизация фосфоритов и преобразование их в тонкий агрегат апатита.

Фосфориты Каратау, балансовые запасы которых оцениваются в 1,9 млрд. т руды (481 млн. т P_2O_5), используются в настоящее время для экстракционной переработки на удобрения (около 44% добываемого сырья) и для электротермического получения элементарного фосфора (около 56% добываемого сырья). Балансовые запасы бассейна могут быть увеличены на 15–20% за счет забалансовых фосфоритов и фосфатно-кремнистых сланцев.

В районах Прибалтики, вдоль южного берега Финского залива, располагаются многочисленные залежи зернисто-ракушечниковых фосфоритов, приуроченные к оболовым пескам и песчаникам пакерортского горизонта нижнего ордовика. Мощность продуктивного горизонта колеблется от 0,5 до 6 м; среднее содержание P_2O_5 в нем от 5 до 10%, редко более. Обычно наибольшая концентрация фосфатного раковинного материала наблюдается в верхней части фосфоритного горизонта. Руды прибалтийских месторождений хорошо обогащаются и дают концентрат с содержанием P_2O_5 28% при извлечении до 90%.

В Сибири и на Дальнем Востоке выявлено несколько фосфоритоносных регионов. К ним относится Алтае-Саянский бассейн, расположенный на юге Западной Сибири. В его пределах развиты геосинклинальные пластовые тонко- и скрытокристаллические фосфориты, приуроченные к карбонатно-кремнистым и вулканогенно-карбонатно-кремнистым отложениям рифея и кембрия. Мощность продуктивных пластов составляет 2–10 м при содержании P_2O_5 8–15%. Преобладают не-

большие месторождения с запасами руд от 10 млн. до 150 млн. т. Общие прогнозные ресурсы района оцениваются в 240 млн. т. Экономичная технология обогащения руд до сих пор не разработана, а традиционные методы не обеспечивают необходимых экономических показателей при переработке руд на удобрения.

В западной части бассейна наибольший интерес представляет разведанное *Белкинское* месторождение с запасами 190 млн. т руды (20,4 млн. т P_2O_5), в том числе по категории А + В + C_1 43,7 млн. т (7,4 млн. т P_2O_5). По данным лабораторных исследований, из руды с содержанием P_2O_5 8,2% методом декарбонирующего обжига получен концентрат с содержанием P_2O_5 23% при извлечении 65%, пригодный для переработки на желтый фосфор.

Разведанные запасы *Телекского* месторождения составляют 162 млн. т руды (22,4 млн. т P_2O_5), со средним содержанием P_2O_5 в рудах 12%. Значительные ресурсы апатита заключены в нижнепалеозойских карбонатитах, развитых в Саянах.

Окино-Китойский район, расположенный на юго-западе Бурятской АССР, представлен верхнерифейско-кембрийскими фосфоритоносными образованиями. Прогнозные ресурсы фосфоритов его оцениваются в 479 млн. т P_2O_5. Здесь выявлены крупные Ухагольское, Харанурское месторождения и многочисленные проявления микрозернистых фосфоритовых руд (8–20% P_2O_5), значительная часть которых по составу и технологическим показателям близка к рудам Каратау.

Ухагольское месторождение сложено в основном терригенной сархойской свитой и существенно карбонатной забитской. Запасы его оцениваются в 90 млн. т P_2O_5, из которых 68 млн. т учитываются по категории C_2. Среднее содержание P_2O_5 в рудах составляет около 14,5%. Флотацией с предварительным обжигом получены концентраты, содержащие 30–31% P_2O_5 при извлечении 81%, что позволяет применять кислотный способ их переработки.

Прогнозные запасы Харанурского месторождения оцениваются в 100–150 млн. т P_2O_5. Среднее содержание P_2O_5 18–20%, а в отдельных случаях достигает 30%. Технологические испытания руд по месторождению не проводились.

Удско-Шантарский бассейн расположен на севере Хабаровского края и приурочен к карбонатно-вулканогенно-кремнистой фосфоритоносной формации. Фосфатоносны пачки карбонатно-кремнистых пород, среди которых установлено шесть уровней фосфатонакопления, из которых четыре характеризуются промышленными параметрами. Прогнозные его запасы относительно невелики и оцениваются в 100 млн. т P_2O_5. Руды бедные (6–10% P_2O_5) и представлены брекчиевидными и микрозернистыми типами фосфоритов. В пределах бассейна выделяется пять перспективных площадей – Лагапская, Ирнимийская, Горелая, Нельканская и Северо-Шантарская. Наиболее изучена Лагапская площадь. Прогнозные запасы ее – 10–25 млн. т P_2O_5, содержание P_2O_5 по залежам колеблется от 4,4 до 12,9%, а в целом по участку около 8,2%. Из кремнистых руд по схемам прямой флотации с 2–3 перечист-

ками и комбинированной суспензионно-пенно-сепарационной и флотационной в лабораторных условиях получен концентрат с содержанием P_2O_5 31,2–36,5% при извлечении до 90%.

Прогнозные запасы наиболее крупной Ирнимийской площади оцениваются в 30–35 млн. т P_2O_5. Среднее содержание P_2O_5 по залежам составляет 5,7–8,5%. Исследования руд на обогатимость практически не проводились.

На базе этих объектов возможно создание горнодобывающего предприятия мощностью по руде 9–10 млн. т в год.

В К Н Р месторождения фосфоритов приурочены к нижнекембрийским отложениям южной окраины платфомы. Мощность пластов колеблется от 0,5 до 10 м, содержание P_2O_5 в них изменяется от 11 до 32%. Характерно повышенное содержание карбонатов, особенно доломита. Общие запасы руд наиболее перспективных месторождений провинции Юньнань оцениваются в 500–700 млн. т. Перспективные месторождения фосфоритов выявлены и в других провинциях: Сычуань, Гуйчжоу, Аньхой, Цзянси.

В М Н Р фосфориты известны в Хубсугульском бассейне, расположенном в северо-западной части республики и продолжающемся на территории СССР. Фосфатоносные слои приурочены к карбонатным толщам двух стратиграфических уровней – вендского и нижнекембрийского, причем на более древнем уровне сосредоточены все основные месторождения. В пределах бассейна выявлено более 30 месторождений и фосфатопроявлений, среди которых наиболее изучено *Хубсугульское.* Здесь фосфоритоносная пачка мощностью 50–80 м включает пять горизонтов мощностью от 4 до 11 м, среднее содержание P_2O_5 в которых составляет 20–22%, за исключением четвертого горизонта, сложенного рудами низкого качества (10% P_2O_5). Окончательная оценка бессейна еще не дана. В 1979 г. в южной его части выявлено Буринханское месторождение, тяготеющее к горнопромышленному комплексу Эрдэнэт.

В А в с т р а л и и фосфориты крупного фосфоритоносного бассейна Джорджина приурочены к формации Битл-Крик среднекембрийского возраста, сложенной терригенно-карбонатными породами. Фосфоритоносная пачка мощностью 13 м включает кремни, фосфатизированные алевролиты, глинистые сланцы и фосфориты, содержащие в среднем 17 % P_2O_5. Общие запасы бассейна оценены в 2,5 млрд. т и сосредоточены на 10 месторождениях. Наиболее крупное из них – месторождение *Дачес,* расположенное в южной части бассейна. Запасы фосфоритов разного качества составляют около 1400 млн. т; фосфориты слагают восемь пластов, из которых три имеют наибольшую промышленную значимость по своей мощности (до 2 м) и качеству руд.

Общие запасы фосфоритов Австралии оцениваются в 2,8 млрд. т, из них доказанные – 0,91 млрд. т.

В С Ш А к нижнему палеозою относят месторождения бурых фосфоритов штата Теннеси. Они представляют собой остаточный продукт разрушения фосфатизированных ордовикских известняков и образу-

ют среди них неправильной формы залежи и карманы мощностью до 15 м. Разрабатываемые залежи содержат 30–36% P_2O_5, 3,4–6,1% полуторных оксидов, 42–49% CaO, 0,02–0,3% MgO, 3,2–3,8% F, 5–9% SiO_2.

В штате Теннесси известны еще две разновидности фосфоритов – синие и белые. Синие фосфориты залегают в песчаниках хардин; они образовались в девонский период путем перемыва силурийских фосфоритоносных пород. Мощность залежей резко изменчива и колеблется от нескольких сантиметров до 1,8 м. Среднее содержание в них P_2O_5 составляет 28–33%, полуторных окислов 2,4–4,8%, CaO 43–49%, MgO 0,1–0,4%, F 3,3–3,8%, SiO_2 5–9%. Белые фосфориты встречаются в форме метасоматических залежей в силурийских известняках. Они образовались в результате выщелачивания фосфора из пластов синих фосфоритов. Запасы их невелики.

Общие запасы фосфоритов штата Теннесси составляют 140 млн. т, из которых 60% приходится на бурые фосфориты и 40% – на синие. Удельный вес добычи фосфоритов из месторождений Теннесси в общей добыче страны колебался в пределах 20–35%, а в настоящее время не превышает 10%.

В штатах Арканзас и Кентукки фосфориты залегают в сланцах ордовика. Они сходны с фосфоритами Теннесси, но качество их хуже.

Мелкие месторождения фосфоритов, обычно приуроченные к отложениям ордовика, известны в ряде стран Западной Европы, в частности в Великобритании и Швеции. Практическое значение их невелико, и разработка носит эпизодический характер.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ

В 1976 г. в Восточной Сибири впервые в мире были обнаружены залежи калийных солей раннекембрийского возраста. В настоящее время здесь выделен новый Непский калиеносный бассейн с прогнозными запасами 5 млрд. т сырых солей. Основной пласт залегает на глубине 596–633 м. Сильвинитовые пласты вскрыты в средней части соленосной пачки нижней подсвиты ангарской свиты. Мощность калийного горизонта 70 м. Выделяются три зоны: нижняя – сильвинит с карналлитом мощностью 10 м, средняя – карналлитовая мощность около 50 м и верхняя – сильвинитовая мощностью 10 м. В верхней зоне среднее содержание KCl 18%, в отдельных пластах до 24–35%; в средней зоне содержание сильвина от 2 до 10%; в нижней содержится карналлит и около 20% сильвина, при содержании KCl в двух наиболее богатых пластах 40–50%. Все калиеносные пласты характеризуются низким содержанием нерастворимого остатка, имеют прочную соляную кровлю. Полученные данные свидетельствуют о широком распространении калийных солей в пределах бассейна, в то же время наблюдается сложный характер распределения калийной минерализации в зависимости от структурно-тектонических и литолого-фациальных факторов, которые требуют дальнейшего изучения.

ФТОР

В СССР с нижнепалеозойскими калиевыми гранитами генетически связаны месторождения плавикового шпата Вознесенского рудного района в Приморском крае. Оруденение представлено линзообразными метасоматическими залежами в известняках, прорванных дайками гранита и порфирита. Преобладающими минералами в рудах являются флюорит, кальцит, лепидолит и мусковит. Последние как бы цементируют флюорит и образуют прожилки в руде. Встречаются также фенакит, турмалин, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенопирит, кварц, топаз, рутил, касситерит и апатит.

Выделяются два основных технологических типа руд: силикатно-флюоритовый и кальцито-силикатно-флюоритовый, отличающиеся величиной карбонатного модуля. Первые распространены преимущественно в верхних горизонтах рудного тела, вторые развиты в периферических частях его и на глубоких горизонтах. Менее интересны в практическом отношении топазо-флюоритовые руды. По текстурным признакам выделяются массивные, брекчиевидные, сетчатые и очковые руды. Содержание в них CaF_2 колеблется от 33 до 52%. Обогащаются они флотационным способом. Зона минерализации прослежена на 5 км с концентрацией основной массы руды на протяжении 1,2 км. Глубина распространения оруденения – 600 м.

Возможно, к нижнему палеозою относятся месторождения высокосортных плавиковошпатовых руд, выявленных, разведанных и освоенных промышленностью в начале 70-х годов в Бразилии, в штате Санта-Катарина. Они представлены крупными залежами, приуроченными к разломам и зонам трещиноватости в гранитах верхнего кембрия. Общие их запасы превышают 2 млн. т, половина которых считается доказанными. Разрабатываются руды, содержащие более 80% плавикового шпата. Эксплуатация этих месторождений обеспечивает основную часть общего производства концентратов плавикового шпата в стране, которое в 1980 г. достигло 9 тыс. т.

АСБЕСТ

С каледонской интрузивной деятельностью связаны крупнейшие месторождения хризотил-асбеста, расположенные в Северной Америке, особенно в восточных провинциях Канады. Известный здесь асбестоносный район связан с обширным поясом серпентинизированных ультраосновных пород, который частично охватывает территорию США (рис. 45). Залежи асбеста приурочены к серпентинизированным перидотитам и пироксенитам, образующим пластовые тела вдоль контакта кембрийских (или докембрийских) и ордовикских осадочных и эффузивных пород. Наиболее интенсивная серпентинизация и асбестовая минерализация тяготеют к зонам разломов и сильной трещиноватости пород. Мощность асбестовых жил и их количество находятся в прямой зависимости от мощности серпентинизированной зоны.

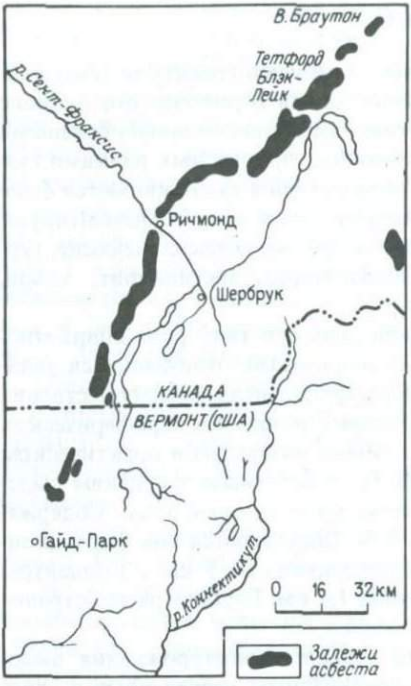


Рис. 45. Схема размещения асбестовых месторождений в Канаде и штате Вермонт, США *(по Э. Лиллею)*

В ряде разрабатываемых залежей на 1 м серпентинитов приходится до 100 прожилков асбеста. Обычно мощность их не превышает 1–2 см, но иногда достигает 10 см. Преобладает поперечноволокнистый хризолит-асбест бледно-зеленого цвета весьма высокого качества.

Наиболее крупные месторождения Канады *Джеффри, Блэк-Лейк* и *Робердж-Лейк* расположены в провинции Квебек. В рудах этих месторождений содержание волокна колеблется от 3 до 10%, составляя в среднем около 8%. При его обработке получается 6,5% текстильного волокна, 11% шиферного, 30% картонно-бумажного и 52,5% короткого волокна прочих сортов. Протяженность зоны продуктивной асбестоносности достигает 1800 м при ширине более 700 м. Буровыми скважинами промышленные скопления асбеста установлены на глубине 500 м. Месторождение Джеффри дает больше половины всей добычи асбеста в Канаде.

На месторождении Блэк-Лейк залежи асбеста находятся на дне одноименного озера, длина которого составляет 3,2 км, ширина – 0,8 км. Минерализация проявлена здесь в форме простых отороченных жил хризотил-асбеста поперечноволокнистого строения. Средняя мощность жил 50 мм. Запасы руды оцениваются в 38,5 млн. т при среднем содержании волокна 8,36%. Месторождение разрабатывается открытым способом. При подготовке его к эксплуатации было осушено озеро и вынуто более 20 млн. м^3 грунта. В провинции Квебек известен еще ряд месторождений асбеста с запасами руд до 10 млн. т. На долю Квебека приходится более 80% общей добычи асбеста в стране.

Крупное месторождение высокосортного хризотил-асбеста *Байя-Верте* разрабатывается на о. Ньюфаундленд. Достоверные и вероятные запасы руд составляют здесь 23 млн. т при среднем содержании асбестового волокна 7,1%.

К раннепалеозойскому возрасту, вероятно, относится также разрабатываемое на территории Юкон месторождение хризотил-асбеста *Клинтон-Крик*. Достоверные запасы руд месторождения составляют 5 млн. т. Асбест отличается высоким качеством.

Асбест добывается также в Британской Колумбии и Онтарио.

Уровень годового производства асбеста в Канаде в последнее время составляет 1500 тыс. т, что соответствует более 70% суммарной добычи его в капиталистических и развивающихся странах. Общие ресурсы асбеста оцениваются в 95 млн. т, доказанные запасы составляют 37 млн. т.

Сходными геологическими условиями характеризуются месторождения хризотил-асбеста США, расположенные в штатах Вермонт и Аризона. Они сравнительно небольшие по размерам, общие запасы их не превышали 1,5 млн. т преимущественно коротковолокнистого асбеста.

Аризонский асбест самый лучший в стране и относится к сырью стратегического значения. Он маложелезистый, со средней длиной волокна 10–12 мм. Добыча его производится подземным способом.

В связи с истощением разведанных запасов хризотил-асбеста в штате Вермонт большая часть его добычи обеспечивается за счет разработки сравнительно небольших месторождений Калифорнии – *Копперополис, Коалинга* и *Нана.* Все они приурочены к серпентинизированным дунитам, предположительно третичного возраста.

Годовая добыча хризотил-асбеста в США составляет примерно 85 тыс. т, и бóльшая часть потребности в нем (около 85%) удовлетворяется за счет импорта.

Доказанные запасы хризотил-асбеста в США составляют 3,86 млн. т. Разведаны также небольшие месторождения антофиллит-асбеста, расположенные в штатах Джорджия, Айдахо, Мэриленд и Монтана. Суммарные запасы его волокна оцениваются в 140 тыс. т.

Месторождения хризотил-асбеста раннепалеозойского возраста известны также в СССР, в Восточной Сибири, где они связаны с гипербазитовыми интрузиями, приуроченными к крупным региональным разломам. Ультраосновные интрузивные массивы располагаются среди кембрийских эффузивно-осадочных образований или протерозойских гнейсов, кристаллических сланцев и метаморфизованных карбонатных отложений и образуют пояса, которые протягиваются на сотни километров.

К ним относится *Саянское* месторождение, расположенное на юге Красноярского края. Оно находится на северо-восточном окончании Иджимского дунит-гарцбургитового массива, в пределах Орешского тектонического блока. Вмещающими для асбестоносных ультрабазитов являются зеленокаменноизмененные эффузивы и туфы основного состава, *переслаивающиеся с кремнистыми, углисто-кремнистыми, актинолит*-хлоритовыми и другими сланцами чингинской свиты раннекембрийского возраста. Зона асбестоносных пород контролируется разломом. Месторождение представлено двумя крупными асбестоносными залежами протяженностью около 4 км и шириной от 120 до 350 м и рядом мелких рудных тел. Среднее содержание асбеста сортов АК-VI – 3,11%. Балансовые его запасы составляют 6,5 млн. т.

Актовракское месторождение в Тувинской АССР приурочено к одноименному гипербазитовому массиву, залегающему среди нижнекем-

брийских осадочно-эффузивных образований. Массив прослежен в длину на 3800 м, ширина его от 200 до 500 м. Асбестовая минерализация в форме простых и сложных отороченных жил, а также в виде мелкой сетки прожилков проявлена преимущественно в зонах наиболее интенсивной трещиноватости. Мощность отдельных зон промышленной асбестоносности достигает 100 м и более при протяженности до нескольких тысяч метров. Распространение промышленной асбестоносности установлено до глубины 350 м. Длина волокна асбеста в рудах колеблется от 2,81 до 3,69%. Балансовые запасы асбеста составляют 15,3 млн. т.

Наиболее высоким качеством руд характеризуется недавно открытое и разведанное месторождение *Молодежное*, расположенное в Бурятской АССР. Оно приурочено к серпентинизированному гипербазитовому массиву, прорывающему толщу протерозойских метаморфических пород. Асбестоносная залежь прослежена в длину на 768 м, ширина ее – от 278 до 489 м, глубина достигает 600 м. Для нее характерно четко выраженное концентрически-зональное строение, обусловленное сменой асбестовых зон от безрудного перидотитового ядра залежи к ее периферии в следующем порядке: зона простых отороченных жил, зона крупной сетки и зона мелкосетчатых жил. Среднее содержание асбестового волокна в разведанных запасах сортов АК-VI составляет 7,81%, из них 20% текстильных сортов. Общие запасы асбеста составляют 14,4 млн. т.

ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭПОХА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Позднепалеозойская эпоха, которая согласно принятой шкале абсолютного летоисчисления началась 400 млн. лет назад, включает три периода: девонский – продолжительностью 80 млн. лет, каменноугольный – 50 млн. лет и пермский – 45 млн. лет.

В отличие от отложений нижнего палеозоя среди осадков позднепалеозойского возраста преобладают континентальные лагунные и озерные фации и связанные с ними крупные месторождения нефти, угля, горючих сланцев, бокситов, железных руд, фосфоритов, калийных солей и др. (табл. 5).

Более интенсивно, чем каледонские, проявились герцинские орогенические движения, среди которых выделяются крупные тектонические фазы, имевшие место на границе верхнего девона и нижнего карбона (бретонская фаза), нижнего и среднего карбона (судетская фаза), среднего и верхнего карбона (астурийская фаза), нижней и верхней перми (заальская фаза), верхней перми и нижнего триаса (пфальцская фаза).

В позднем палеозое создан богатый и разнообразный комплекс полезных ископаемых.

В отличие от двух предыдущих эпох рудообразования, в позднем палеозое существовали особенно благоприятные условия для накопления как лимнических, так и паралических угленосных формаций; месторождения углей этого возраста составляют основу сырьевой базы мировой угольной промышленности. Они почти целиком сосредоточены на континентах северного полушария; к ним относятся крупнейшие угольные бассейны США (Аппалачский, Пенсильванский), Западной Европы (Великобританский, Рурский, Саарский,), СССР (Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский, Печорский, Минусинский, Тунгусский) и КНР (Датунский и др.).

Основные ресурсы каменных углей Европы и Северной Америки заключены в отложениях среднего и верхнего карбона. К пермскому возрасту в зарубежных странах относятся угленосные толщи КНР, Индии, Южной Африки, Австралии. В СССР геологические запасы пермских углей, сосредоточенные в основном в Кузнецком, Минусинском, Тунгусском, Печорском и Таймырском бассейнах, превышают 35% общесоюзных запасов угля.

Большое экономическое значение имеют месторождения нефти и газа позднепалеозойского возраста. Они приурочены к морским терригенным и карбонатным осадкам девона, карбона и перми, развитым в платформенных областях, и обнаружены в СССР, США и Канаде, а также в Северной Африке.

Широко распространены экзогенные и эндогенные месторождения

Таблица 5

Распределение позднепалеозойских доказанных запасов и добычи (производства) важнейших видов минерального сырья развитых капиталистических и развивающихся стран по регионам

Полезные ископаемые	Всего		Западная Европа		Азия		Северная Америка		Центральная и Южная Америка		Африка		Австралия и Океания	
	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча
Нефть, млрд. т	3,7	0,30	–	–	–	–	1,8	0,20	0,4	0,02	1,5	0,08	–	–
Газ, млрд. м^3	8928	268	1560	86	–	–	4491	175	290	–	2587	7	–	–
Уголь, млрд. т	582	1,21	165	0,25	31	0,14	241	0,56	1	0,01	125	0,14	19	0,11
Уран*, тыс. т	211	6,71	55	2,64	–	–	–	–	16	0,07	140	4,00	–	–
Железные руды, млн. т	3760	3,97	3040	3,97	–	–	–	–	–	–	720	–	–	–
Марганцевые руды, млн. т	23	0,72	3	0,03	3	0,09	7	0,45	1	0,04	9	0,11	–	–
Хромовые руды*, млн. т	3	0,03	3	0,03	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Медь, млн. т	4,1	0,07	3,7	0,07	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Свинец, млн. т	49,1	0,63	5,5	0,08	–	0,02	43,6	0,53	–	–	–	–	–	–
Цинк, млн. т	60,2	1,11	11,3	0,29	1,1	–	47,8	0,82	–	–	–	–	–	–
Олово, тыс. т	372	17,64	149	4,71	–	–	10	0,25	5	0,60	–	–	208	12,08
Вольфрам, тыс. т WO_3	178	7,69	45	3,19	–	–	–	–	5	0,10	–	–	128	4,40
Ртуть*, тыс. т	53	1,92	53	1,92	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сурьма*, тыс. т	30	0,70	30	0,70	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Фосфориты и апатиты, млн. т	2750	8,04	–	–	–	–	2750	8,04	–	–	–	–	–	–
Калийные соли, млн. т	14 360	9,62	60	0,28	–	–	14 300	9,34	–	–	–	–	–	–
Плавиковый шпат, млн. т	120,5	0,90	70,5	0,76	–	–	48,0	0,07	–	–	2,0	0,07	–	–
Асбест*, млн. т	1,0	0,03	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0	0,03

*Даны общие запасы.

железных руд позднепалеозойского возраста. В зарубежных странах, особенно в Западной Европе, преобладают осадочные руды, образовавшиеся в континентально-прибрежных или морских условиях, обычно отличающиеся мелкими размерами залежей и низким качеством. Это издавна разрабатываемые сидеритовые и лимонитовые руды Австрии, сидеритовые, лимонитовые и гематитовые руды Великобритании, лимонит-гематитовые руды ФРГ, гидрогетитовые руды Бельгии, гематит-сидеритовые руды Испании. Запасы отдельных месторождений в большинстве случаев не превышают 10–20 млн. т, но в связи с их широким развитием общие запасы верхнепалеозойских руд исчисляются миллиардами тонн. Наиболее крупными ресурсами обладает Великобритания, где только потенциальные запасы сидеритовых руд оцениваются в 4,6 млрд. т.

В Африке крупные запасы железных руд (2–4 млрд. т), приуроченные к отложениям среднего девона, обнаружены в южной части Алжира.

В отличие от зарубежных стран верхнепалеозойские железорудные месторождения СССР представлены преимущественно контактово-метасоматическими сплошными и вкрапленными магнетитовыми рудами. Они характеризуются сравнительно высоким качеством и, несмотря на небольшой удельный вес их в общих запасах, играют существенную роль в общесоюзной добыче. К ним относятся магнетитовые руды Тургайского прогиба и руды многочисленных месторождений Урала, Кузнецкого Алатау, Западного Саяна и Горного Алтая. Возможно, что в конце позднего палеозоя образовались и своеобразные месторождения Ангаро-Илимского района, приуроченные к вулканическим трубкам взрыва трапповой формации и отнесенные нами к мезозойскому возрасту. Известны также месторождения осадочных и осадочно-метаморфических руд, но практическое значение их сравнительно невелико. Наиболее крупные из них расположены в Центральном Казахстане.

Марганец не характерен для позднепалеозойской эпохи рудообразования. Известные в Западной Европе, Северной Африке, Юго-Восточной Азии и в СССР верхнепалеозойские месторождения марганца характеризуются малыми размерами, сравнительно низким качеством руд и, за редким исключением, в промышленности не используются.

В отличие от зарубежных стран, где большая часть ресурсов хромитов заключена в докембрийских месторождениях, в СССР основная роль в запасах и добыче хромитов принадлежит верхнепалозойским рудам. С герцинскими ультраосновными интрузиями генетически связаны мелкие проявления хромитов в США и, возможно, месторождения хромитов Западной Анатолии в Турции, уже почти нацело выработанные.

Промышленное значение имеют месторождения бокситов каменноугольного возраста, распространенные в пределах Русской, Китайской и Северо-Американской платформ, В СССР, кроме того, известны девонские месторождения бокситов геосинклинального типа, сосредоточенные на Урале и в Салаире.

До настоящего времени не установлены сколько-нибудь значительные месторождения никеля и кобальта позднепалеозойского возраста. Ультраосновные интрузии верхнего палеозоя на Урале послужили источником никеля и кобальта для силикатных месторождений, приуроченных к мезозойской коре выветривания серпентинитов. С небольшими гранитными интрузиями, прорывающими эффузивные образования нижнего девона, генетически связано кобальтовое оруденение в Восточной Сибири, проявленное в форме метасоматических жильных зон.

В позднепалеозойское время образовались многочисленные экзогенные и эндогенные промышленные месторождения меди самых разнообразных генетических типов, но все они сосредоточены в Евразии. На остальных континентах встречаются лишь мелкие проявления меди этого возраста, обычно не имеющие практического значения.

К верхнепалеозойским относят весьма крупные месторождения медистых песчаников в ГДР, ПНР и СССР, меднопорфировые месторождения в СССР, а также медноколчеданные месторождения в Испании, Португалии, КНР и СССР.

Более широко развиты верхнепалеозойские месторождения свинца и цинка, которые в отличие от месторождений меди известны также в Северной Америке. В частности, большинство исследователей относят к этому возрасту провинцию полиметаллических руд долины Миссисипи, хотя некоторые авторы считают эту минерализацию значительно более молодой. В Канаде к доломитам среднего девона приурочены полиметаллические руды одного из крупнейших в мире месторождений Пайн-Пойнт, общие запасы свинца и цинка которого превышают 12 млн. т. К верхнему палеозою относится также ряд других, менее крупных месторождений замещения в карбонатных породах, развитых в Северо-Западных территориях Канады. В верхнепалеозойских полиметаллических месторождениях заключены основные ресурсы свинца и цинка ФРГ и Италии, а также бóльшая часть разведанных запасов СССР. Сравнительно мелкие верхнепалеозойские месторождения полиметаллических руд известны также в Австралии, Великобритании и Франции; существенного значения в добыче и запасах они не имеют.

К верхнему палеозою относится ряд месторождений свинца и цинка в КНР.

Промышленные месторождения олова, вольфрама и молибдена позднепалеозойского возраста встречаются только в нескольких районах земного шара. К наиболее крупным месторождениям олова этого возраста относятся Корнуэллские месторождения (Англия), на которых за долголетний период эксплуатации уже добыто около 1 млн. т металла. Многочисленные преимущественно жильные месторождения касситерит-вольфрамовых кварцевых руд, генетически связанных с герцинскими гранитоидами, разрабатываются в Португалии и Испании. Небольшие месторождения аналогичных руд, расположенные в Саксонских горах, эксплуатируются также в ГДР и ЧССР.

С девонскими гранитоидами связаны касситерит- и вольфрамитсо-

держащие кварцевые и пегматитовые жилы в Тасмании (Австралия). Начальные запасы олова наиболее крупного месторождения Айберфойл оцениваются в 70 тыс. т. К более поздним гранитоидам, вероятно верхнедевонским, в штатах Квинсленд и Новый Южный Уэльс также приурочены жильные месторождения касситерит-вольфрамовых руд и многочисленные мелкие месторождения молибдена. Небольшие скарновые месторождения вольфрама, генетически связанные с герцинскими гранитоидами, разрабатываются в Марокко. Жильные месторождения вольфрама известны в Аргентине.

В СССР оловоносность позднепалеозойского возраста существенное значение приобрела в последнее время в связи с открытием промышленных месторождений в Киргизии. К этому возрасту относится образование месторождений штокверковых руд вольфрама и молибдена в Казахстане и шеелитоносных скарнов в Средней Азии.

Возраст большинства известных месторождений ртути и сурьмы достоверно не установлен. Предположительно к позднепалеозойскому времени относят образование крупнейшего в мире месторождения ртути Альмаден и ряда других более мелких месторождений Испании. Проявления вулканизма в заальскую фазу варисской орогении обусловили образование многочисленных месторождений ртути в ФРГ, почти нацело уже выработанных. С магматизмом позднего палеозоя генетически связаны сравнительно небольшие месторождения сурьмы в Канаде и в Австрии и месторождения ртути в США (штат Арканзас).

В СССР верхнепалеозойскими считают большинство месторождений ртути и сурьмы в Средней Азии, а также месторождения ртути в Западной Сибири и на Алтае. Вероятно, в то же время образовалось и Никитовское ртутное месторождение, хотя некоторые исследователи приписывали этому оруденению мезозойский возраст.

Верхнепалеозойские месторождения золота довольно многочисленны, но удельный вес их в общих запасах и добыче этого металла незначителен. Все месторождения этого возраста, известные в США (в Аппалачах), Канаде (в Южном Квебеке), Новой Шотландии, Боливии (в Андах), Аргентине (в Пампе), Австралии (в Виктории и Новом Уэльсе), МНР (на Алтае) и СССР (Миасская формация Урала), генетически связаны с девонскими гранитоидами, интрузии которых, по мнению ряда исследователей, относятся к завершающим этапам каледонской орогении.

С ультраосновными интрузиями среднего девона генетически связаны месторождения платиноидов на Урале.

К верхнему палеозою относят редкометалльные пегматиты Западной Европы (Испания, Португалия и Франция), США (Аппалачи), МНР (Алтай) и СССР. Преобладают месторождения с характерным комплексом минералов лития, бериллия, ниобия и тантала. Наиболее крупные месторождения редкометалльных пегматитов этого возраста известны в Испании.

Промышленное урановое оруденение позднепалеозойского воз-

раста установлено в США, Аргентине, Франции, Испании, Португалии и Нигере.

Весьма широко проявилась в позднем палеозое урановая минерализация экзогенного происхождения. В США ураноносны различные битуминозные сланцы, фосфоритные породы и каменные угли. В них заключены огромные запасы урана, и, хотя содержание его в породах измеряется только тысячными долями процента, они представляют практический интерес и частично уже используются. Урансодержащие верхнепалеозойские сланцы известны и в других зарубежных странах, в частности во Франции и в Италии.

В позднепалеозойскую эпоху образовался разнообразный комплекс неметаллических полезных ископаемых, среди которых выдающееся значение имеют месторождения калийных солей и плавикового шпата.

Верхнепалеозойские, особенно пермские, месторождения калийных солей занимают почти монопольное положение в мировой добыче; их удельный вес в мировых запасах этого полезного ископаемого значителен. К отложениям нижнего и среднего девона приурочены огромные ресурсы калийных солей Саскачеванского бассейна в Канаде, а к отложениям верхнего девона – соленосные образования Припятского прогиба в СССР. В перми образовались крупнейшие месторождения калийных солей Главной котловины в ГДР и ФРГ, Карлсбадское в США и Верхнекамское в СССР. Небольшие месторождения верхнепермских калийных солей разрабатываются во Франции. Калийные соли, приуроченные к отложениям перми, открыты в Йоркшире (Англия).

С герцинскими гранитоидами в ряде стран генетически связаны основные промышленные месторождения плавикового шпата; для большинства из них весьма характерна пространственная ассоциация с промышленной полиметаллической минерализацией. Крупные ресурсы плавикового шпата заключены в месторождениях рудной провинции долины Миссисипи в США, Ньюфаундленда в Канаде, в ряде районов ГДР и ФРГ, Франции, Испании, Великобритании. К верхнему палеозою относят месторождения плавикового шпата Сардинии в Италии, а также ряд месторождений Северной Африки (Центральное Марокко). В СССР с герцинскими гранитами генетически связаны месторождения Средней Азии и Казахстана, а также *метасоматические залежи плавиковошпатовых* руд на побережье Северного Ледовитого океана.

Промышленные месторождения асбеста позднепалеозойского возраста сосредоточены в СССР – на Урале и в Казахстане. Сравнительно небольшие месторождения асбеста этого возраста известны в ряде стран Европы.

К девонской многофазной интрузии щелочных пород приурочены уникальные месторождения апатит-нефелиновых руд центральной части Кольского полуострова. К этому возрасту также относится расположенное здесь крупнейшее в мире Ковдорское месторождение флогопита. Позднее происходило формирование обширного фосфоритоносного бассейна западных штатов США, продуктивные горизонты которого приурочены к отложениям нижнего карбона и перми.

Промышленные скопления нефти и газа в верхнепалеозойских отложениях по сравнению с более молодыми мезозойскими и кайнозойскими месторождениями распространены ограниченно и известны в немногих странах. Все они приурочены в основном к платформенным областям. Наличие нефти в подобных отложениях установлено в Европейской части СССР, особенно в районах, расположенных между Волгой и Уралом, а также в пределах Северо-Американской и Южно-Американской платформ, на территориях США, Канады, Аргентины, Боливии и Бразилии. Промышленные месторождения нефти и газа открыты в девонских и каменноугольных отложениях Северной Африки и совсем недавно в Северном море и крупнейшие месторождения газа – в Нидерландах.

Во всех этих районах нефтегазоносны преимущественно прибрежно-морские и морские карбонатно-терригенные формации девона, карбона и перми. Иногда нефтегазоносные фации по направлению к древним берегам морских бассейнов замещаются угленосными, а в разрезах переходных зон наблюдается чередование нефтеносных и угленосных отложений. Часто нефтеносными в этих районах оказываются также нижележащие отложения силура, ордовика и реже кембрия.

В Северной Америке залежи нефти и газа позднепалеозойского возраста наиболее широко распространены в крупнейшей нефтегазоносной провинции США, называемой областью Мидконтинента, которая охватывает западные, центральные и восточные области Северо-Американской платформы. В пределах этой обширной территории промышленные залежи нефти и газа приурочены к отложениям ордовика, силура, миссисипского и пенсильванского отделов карбона и пермской системы. Промышленные скопления нефти и газа встречаются также и в более древних отложениях – кембрийских и докембрийских, и в более молодых – меловых и третичных.

Залежи нефти и газа относятся к различным генетическим типам – структурным, литологическим и стратиграфическим, которые иногда встречаются совместно в пределах одного месторождения. Они отличаются также разным возрастом и разнообразным литологическим составом продуктивных горизонтов: от песков и песчаников до рифовых и пористых кавернозных известняков.

По запасам и добыче нефти и газа ведущая роль в этой провинции принадлежит штатам Канзас и Оклахома, где наряду с многочисленными мелкими месторождениями имеется ряд сравнительно крупных месторождений нефти (50–60 млн. т и более). Добываемая нефть обычно парафинового или смешанного основания и пригодна для получения смазочных масел.

Большое промышленное значение имеют нефтегазоносное месторождение Панхендл и месторождение природного газа Хьюгстон, открытые в США соответственно в 1918 и 1926 гг. и интенсивно до настоящего времени разрабатываемые. Месторождение *Панхендл* находится на тер-

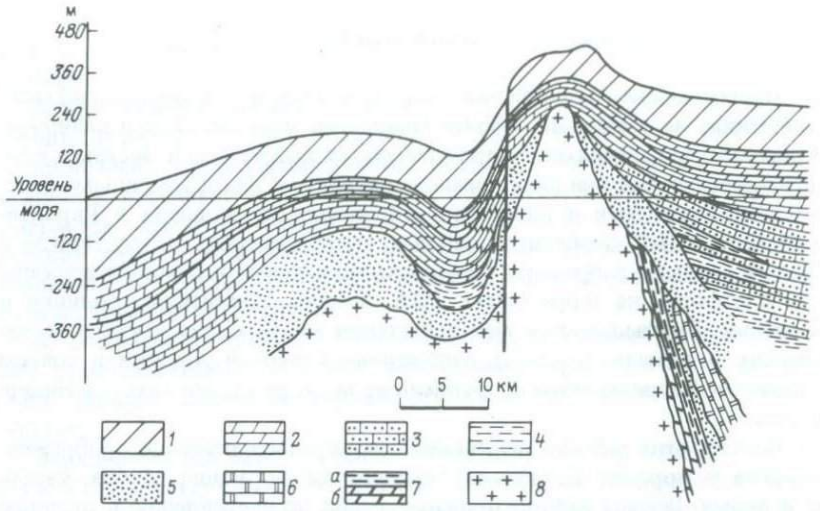


Рис. 46. **Разрез месторождения Панхендл** *(по В. Фер Вибе)*:

1–2 – пермские отложения: *1* – ангидриты, *2* – доломиты; *3–5* – пенсильванская толща: *3* – аркозовые известковистые песчаники, *4* – сланцы, *5* – пески; *6* – миссисипская толща, известняки; *7* – ордовикские сланцы *(а)* и известняки *(б)*; *8* – докембрийские граниты

ритории штатов Оклахома и Техас. Продуктивные его горизонты приурочены к нижнепермским и пенсильванским отложениям, которые прослеживаются на протяжении 200 км, средняя ширина их 20–25 км (рис. 46). Залежи газа приурочены к песчаным и карбонатным коллекторам, расположенным на глубине 442–1067 м. Этаж газоносности составляет около 400 м, начальные дебиты скважин достигают 1,5–3 млн. м³. Газовые залежи в этом районе приурочены к сводовой части погребенного поднятия, а залежи нефти располагаются на его северо-восточном склоне.

Залежи нефти и газа установлены также в миссисипских отложениях. Начальные запасы газа составляли около 1000 млрд. м³ и нефти 260 млн. м³; примерно 600 млрд. м³ газа и более 200 млн. т нефти было добыто к концу 1960 г.

Месторождение *Хьюгстон* расположено на территории штатов Канзас, Оклахома и Техас. Здесь продуктивны карбонатные отложения пермского возраста, залегающие на глубине 762–975 м. Начальные запасы газа месторождения 1118 млрд. м³ почти полностью извлечены.

В 1978 г. в округе Джейнс (штат Техас) получен приток нефти из девонских пород, залегающих на глубине 3500 м. Дебит нефти составил 75 т/сут.

Крупные ресурсы нефти в США сосредоточены в пределах *Пермской впадины*, где нефтеносны отложения всего палеозойского разреза

и продуктивные горизонты сложены песчаными и карбонатными породами ордовикской, силурийской, девонской, каменноугольной и пермской систем. Наиболее крупные и богатые залежи нефти и газа связаны с отложениями пермского возраста, представленными пестроцветными песчаниками и глинами, ангидритами, гипсами, солями, доломитами и известняками, частью рифовыми.

На наиболее крупном месторождении *Эйтс,* приуроченном к куполовидному поднятию, установлено несколько продуктивных зон мощностью до 40 м, представленных карбонатными и в меньшей степени песчаными породами верхней перми. Нефть содержит много растворенного газа. Свободные начальные дебиты некоторых скважин достигали 25 тыс. т/сут. Запасы нефти на месторождении оцениваются примерно в 100 млн. т, из которых около 65 млн. т добыто.

Высокой продуктивностью отличаются газовые залежи Пермской впадины. Начальные дебиты скважин часто достигали 2,5–3 млн. м^3/сут, а иногда и 4 млн. м^3/сут.

К песчаным карбонатным породам пенсильванского и миссисипского отделов карбона приурочены сравнительно крупные залежи нефти в районе свода *Бенд.*

Многочисленные месторождения, продуктивные горизонты которых представлены девонскими, миссисипскими и пенсильванскими отложениями, развиты в восточных штатах (Иллинойс, Мичиган, Огайо, Индиана, Теннесси и др.). Здесь известно несколько сотен нефтяных и газовых месторождений, из которых только 12 месторождений имеют запасы, достигающие 50 млн. т. Основные залежи в пределах этого района относятся к группе структурных и связаны с локальными куполовидными и брахиантиклинальными складками.

Одно из наиболее крупных месторождений *Сейлем,* расположенное в штате Иллинойс, приурочено к пологой брахиантиклинальной складке. Здесь выявлено восемь залежей, коллекторами для которых служат песчаные и карбонатные отложения девонского и миссисипского возраста. Нефть обнаружена также в нижележащих известняках карбона. Начальные запасы месторождения оценивались в 60 млн. т. Сходным по геологическим условиям нефтеносности является месторождение *Лаудон,* которое по запасам нефти почти не уступает Сейлему.

Многие месторождения района заключают значительные ресурсы газа, растворенного в нефти или располагающегося в виде газовых шапок. Имеются также собственно газовые месторождения, в которых основные продуктивные залежи связаны с миссисипскими песчаными горизонтами.

Крупной провинцией преимущественного распространения верхнепалеозойских нефтегазоносных толщ является *Предаппалачская предгорная впадина,* с которой связано начало развития нефтяной промышленности США. Эта провинция простирается от штата Нью-Йорк на севере до штата Алабама на юге и включает юго-западную часть штата Нью-Йорк, Западную Пенсильванию, восточную часть Огайо, западную часть Западной Виргинии и восточную часть Кентукки. Вся эта об-

ласть протяженностью 800 км и шириной до 250 км сложена мощной толщей осадочных пород от кембрийского до пермского возраста, среди которых преобладают известняки и сланцы с подчиненными пластами песчаников и песков. Нефтегазоносны здесь отложения всех систем палеозоя, в разрезе которых насчитывается около 60 продуктивных горизонтов. Наиболее важные продуктивные горизонты приурочены к отложениям карбона. Главные газовые залежи в штатах Нью-Йорк, Пенсильвания и частично Огайо связаны с отложениями девона. Силурийские залежи газа распространены преимущественно в Восточном Кентукки и Огайо.

Коллекторами нефти и газа являются главным образом рыхлые или сцементированные песчаники. В отложениях девона и ордовика нефть и газ встречаются в трещиноватых карбонатных породах. В большинстве случаев залежи приурочены к пологим антиклиналям и выклинивающимся периферийным зонам песчаных линз. Начальные запасы месторождения *Бредфорд,* одного из крупнейших в провинции, оценивались свыше 100 млн. т нефти.

Месторождения Предаппалачской впадины отличаются высоким качеством нефти. При перегонке ее получается в среднем 35% бензина, 27% керосина, 10% газолина и 15% масел. Нефть малосерниста; например, нефть Бредфорда содержат в среднем только 0,11% серы.

В 1967 г. на севере Аляски в бассейне р. Колвилл открыто газонефтяное богатейшее месторождение *Прудхо-Бей,* представленное тремя залежами. Нижняя залежь площадью около 70 тыс. га приурочена к карбонатным отложениям группы лисберн каменноугольной системы, залегающим на глубине 2628–3135 м. Средняя залежь, наиболее значительная, приурочена к песчаникам прудхо-бей (пермо-триас), залегающим на глубине 2430–2606 м, и верхняя залежь площадью 52 тыс. га представлена песчаниками свиты купарук-ривер (нижний мел), залегающими на глубине 1524–1626 м. Начальные запасы нефти месторождения оцениваются в 2860 млн. т и газа в 850 млрд. м^3. Примерно 2/3 этих запасов заключено в отложениях верхнего палеозоя. В скважине-открывательнице опробовались миссисипские отложения (карбон), залегающие на глубине 2851–2947 м. Суточный дебит составлял 142 т нефти и 37 тыс. м^3 газа.

Многочисленные месторождения нефти и газа палеозойского возраста известны в К а н а д е. Главная нефтеносная площадь (2400 х 1300 км) расположена между Кордильерами и Канадским щитом и выполнена мощными палеозойскими и мезозойскими отложениями. Небольшие месторождения имеются в Северо-Западных территориях и в провинциях Манитоба, Онтарио, Квебек.

Ведущую роль играют нефтеносные отложения девона, в которых сосредоточено более 30% всех извлекаемых запасов нефти в Канаде. В более молодых палеозойских отложениях запасы нефти не превышают 7–9%. Запасы газа в верхнепалеозойских отложениях распределены примерно поровну между девонскими и миссисипскими образованиями.

В разрезе девонских отложений основные продуктивные горизонты приурочены к карбонатной толще верхнего отдела, которая регионально распространена в провинции Альберта. С ней связаны залежи нефти месторождений Редуотер, Ледюк и ряда других, которые в совокупности создают единую крупную нефтегазоносную зону. Коллекторами нефти служат рифовые известняки, продуктивная часть которых залегает на глубинах от 1500 до 3500 м.

На месторождении *Редуотер* мощность наиболее богатой продуктивной части горизонта достигает 30 м. Запасы его оценивались примерно в 100 млн. т нефти. Начальные дебиты скважин после кислотной обработки достигали 250–300 т/сут. На месторождении *Ледюк* известны две продуктивные зоны на глубинах 1500 и 1650 м средней мощностью соответственно 18 и 10,5 м. Первоначальные запасы месторождения оценивались в 50 млн. т. В некоторых месторождениях этой группы над залежами нефти развиты газовые шапки, а сама нефть содержит значительное количество растворенного газа.

Ряд газовых месторождений, приуроченных к девонским отложениям, открыт в северо-восточной части Британской Колумбии.

С открытием нефти в верхнедевонских отложениях утратили первостепенное значение залежи нефти в миссисипских песчаниках, в том числе месторождение *Тернер-Валли,* в провинции Альберта, которое в течение 35 лет (до 1949 г.) давало около 80–90% всей добываемой в Канаде нефти. Нефтеносные отложения миссисипского возраста вскрыты в провинции Манитоба, но и здесь залежи нефти этого возраста отличаются мелкими масштабами.

В Азии в последнее время возросло значение верхнепалеозойских месторождений нефти и газа. Обширный бассейн нефтегазоносных отложений пермо-карбона прослеживается от прибрежной части Южного Йемена до западного побережья Индии. Крупнейшие месторождения природного газа, приуроченные к отложениям пермской свиты хуфф, разведаны в Иране (*Канган* с запасами 3 трлн. м^3 и потенциальными ресурсами до 5 трлн. м^3, *Парс* с запасами 2,8 трлн. м^3), Катаре (*Порт-Уэст-Доум*) с потенциальными ресурсами 5,7 трлн. м^3) и Объединенные Арабские Эмираты (*Умм-Шаиф* с запасами около 400 млрд. м^3). На месторождении Канган продуктивные известняки и доломиты залегают на глубине 2740–2990 м, а на месторождении Умм-Шаиф на глубине 4610 м.

Месторождения нефти в верхнепалеозойских отложениях известны в ряде стран Южной Америке. В Аргентине богатые залежи легкой нефти в отложениях перми, карбона и девона открыты в районе Сальта. Основные нефтеносные горизонты расположены на глубинах 3500–4000 м. Начальный дебит ряда скважин достигал 300 т/сут. В Боливии залежи нефти и газа приурочены к песчаным коллекторам пермо-карбона и девона. Здесь нефтеносные отложения распространены до глубины 1500 м и начальные дебиты скважин колеблются от нескольких тонн до 150 т. Промышленные скопления нефти в песчаниках девона установ-

лены в Бразилии, где в бассейне Амазонки открыто крупное месторождение нефти *Нова Олинда.*

Бразилия располагает большими запасами битуминозных сланцев, размещенных в ряде штатов страны и приуроченных преимущественно к свите ирате (пермь). Одно из наиболее крупных месторождений этой свиты – *Сао-Матеус-ду-Сул* в штате Парана, прогнозные запасы которого на площади 80 км^2 составляют более 100 млн. т нефти, 10 млн. т серы, 4,5 млн. т газового конденсата и 623 млн. м^3 природного газа. Разработана технология и построена полупромышленная установка по переработке сланцев. По ориентировочным расчетам, суточная переработка 108 тыс. т сланцев позволит получить 10 тыс. т нефтепродуктов, 900 т серы, 400 т газового конденсата и легкий горючий газ.

На Африканском континенте к верхнему палеозою относятся крупные месторождения нефти и газа, расположенные в Сахаре, где наиболее благоприятными коллекторами являются песчаные фации кембрия, ордовика, девона, нижнего карбона, а также триаса. Хорошо изучена северная часть Сахары в пределах Алжира. Бóльшая часть разведанных запасов сосредоточена в нижнепалеозойских отложениях района месторождения *Хасси-Месауд.*

Промышленные месторождения нефти позднепалеозойского возраста расположены в юго-восточной части Алжира, вблизи границы с Ливией. Наиболее крупное из них месторождение *Эджеле* приурочено к антиклинальной складке длиной 30 км и шириной 6 км, сложенной песчано-глинистыми отложениями девона и карбона. Нефтегазоносные залежи встречаются во всех этих отложениях, но основные продуктивные горизонты приурочены к песчаникам верхнего девона. В эксплуатации находятся около 100 скважин глубиной от 400 до 1350 м с дебитом от 20 до 50 т/сут.

В юго-западной части Алжира с песчаниками девона, образующими здесь многочисленные пологие брахиантиклинальные поднятия, связаны промышленные месторождения газа. Газоносные горизонты расположены на глубинах от 1400 до 2500 м, дебиты газа по скважинам колеблются от 100 тыс. до 500 тыс. м^3/сут.

Достоверные запасы нефти в Алжире на начало 1982 г. составили 1944 млн. т и газа 3150 млрд. м^3, а добыча их в 1980 г. – соответственно 57 млн. т и 11,7 млрд. м^3 (товарного газа).

Установлены также широкие проявления промышленной нефтегазоносности в верхнепалеозойских отложениях Ливии. Здесь в 75 км к юго-востоку от месторождения Эджеле (Алжир) разрабатывается месторождение *Атшан,* продуктивные горизонты которого приурочены к девонским песчаникам. Суточный дебит скважин колеблется от 10 до 100 т. В месторождениях, расположенных к северу от этого района, нефтегазоносность связана с отложениями нижнего карбона, а также силура и ордовика. Нефть месторождений Ливии легкая, плотность ее 0,8 г/см^3. Глубина продуктивных горизонтов от 700–800 до 2750–3070 м, суточные дебиты скважин достигают 140 т нефти и 35 тыс. м^3 газа. Достоверные запасы нефти Ливии на начало 1982 г. определены в

3516 млн. т и газа – в 730 млрд. м^3, а добыча их в 1980 г. составила 91,7 млн. т и 5,2 млрд. м^3 (товарного газа).

Промышленная нефтегазоносность установлена в песчаниках цехштейна и красноцветной свиты нижней перми, широко распространенных в Западной Европе. К ним приурочено самое крупное в капиталистическом мире месторождение природного газа *Слохтерн*, расположенное в провинции Гронинген в северной части Нидерландов, вблизи границы с ФРГ. Газоносны песчаники пермского возраста, залегающие на глубине 2621–3261 м. Достоверные извлекаемые запасы газа, по последним данным, составляют 1685 млрд. м^3, добыча его в 1980 г. достигла 95 млрд. м^3. Средний суточный дебит скважин составляет 750 тыс. м^3.

Небольшие месторождения нефти, приуроченные к верхнепермским отложениям, разрабатываются в ФРГ; добыча на этих месторождениях не превышает 1–1,5% общей добычи в стране. Предполагают, что большая часть нефти, образованная в раннем цехштейне, переместилась в вышележащие отложения и сконцентрировалась главным образом в песчаниках и трещиноватых известняках нижнего мела и юры.

В последнее время более 100 месторождений нефти и газа выявлено на шельфе Северного моря, акватория которого разделена между прибрежными странами следующим образом (в %): Великобритания – 46, Норвегия – 27, Нидерланды и Дания – по 11, ФРГ – 5, Франция и Бельгия – по 0,5. В Британском секторе в 1980 г. в разработку было вовлечено 11 месторождений с суммарной суточной добычей нефти более 40 тыс. т и намечалось в последующие два-три года ввести в разработку еще 8 месторождений.

Продуктивность нефтегазоносных отложений Северного моря отмечается в широком стратиграфическом диапазоне – от пермских до эоценовых; при этом основные запасы нефти преимущественно сосредоточены в мезозойских и кайнозойских отложениях. Из трех выделяемых в пределах Северного моря нефтегазоносных провинций к верхнему палеозою относится провинция пермо-карбона, которая на юге протягивается от ФРГ через Нидерланды к Великобритании. Материнской толщей служат угленосные серии верхнего карбона, а основными коллекторами – песчаники ротлигендс (нижняя пермь). Большинство месторождений приурочено к сложным тектоническим блокам. К этим отложениям приурочен ряд месторождений природного газа, среди которых по количеству начальных запасов (458 млрд. м^3 газа) выделяется месторождение *Лемен-Бэнк*. Продуктивные его горизонты находятся на глубине 1830–2070 м.

В СССР основные нефтегазоносные отложения позднепалеозойского возраста сосредоточены на обширной территории между Волгой и Уралом – в Волго-Уральской газонефтеносной провинции. По географическому положению, геологическим особенностям и характеру газонефтеносности вся эта территория делится на три части: северную, расположенную в основном в бассейне среднего течения р. Камы, центральную, охватывающую территории Башкирской и Татарской АССР, и юж-

ную, включающую Куйбышевскую, Саратовскую, Оренбургскую и ряд других областей. В пределах этих районов нефтегазоносны отложения нижнеказанского подъяруса и уфимского яруса верхней перми, отложения нижней перми, карбона и девона. Залежи нефти в пермских отложениях встречаются на глубинах от 250 до 1500 м, в каменноугольных – от 700 до 2300 м и в девонских – от 1500 до 3300 м. Количество нефтеносных пластов на различных месторождениях колеблется от 2–3 до 10–13.

В Волго-Уральской провинции, где почти повсеместно наиболее продуктивны отложения нижнего карбона и девона, коллекторами нефти являются терригенные (в основном) и карбонатные породы. Нефть обычно содержит газ в растворенном виде; часто газ концентрируется в виде „газовых шапок" над нефтяными залежами или образует собственно газовые месторождения.

В северной части Волго-Уральской провинции многочисленные месторождения приурочены к Краснокамско-Полазненскому, Лобановскому, Уфимскому и Васильевскому валам, осложняющим северную часть Башкирского свода. Продуктивные горизонты представлены верейскими и башкирскими карбонатными отложениями среднего карбона, терригенными образованиями визейского и карбонатными отложениями турнейского ярусов нижнего карбона. Нефтяные залежи среднего карбона залегают на глубинах 1000–1350 м и приурочены к доломитам и известнякам. Из девяти выделенных здесь нефтяных пластов пять относятся к верейскому горизонту московского яруса, три – к башкирскому и один – к намюрскому ярусу. Мощность пластов колеблется от 2 до 30 м. Нефть легкая, относится к классу сернистых, смолистых и высокопарафиновых. Сходными свойствами характеризуется нефть нижнекаменноугольных терригенных отложений, залегающая на глубинах 1300–1700 м. Обычно в них выделяются четыре нефтяных пласта, мощность которых колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров.

В южной части Пермской области промышленно нефтеносны каширско-башкирские отложения среднего карбона, нижнекаменноугольная терригенная толща, известняки верхней части турнейского яруса и терригенные отложения верхнего девона. Наибольшее промышленное значение имеют залежи позднекаменноугольного возраста, которые обычно приурочены к песчаным пластам тульского и угленосного горизонтов мощностью от 4 до 17 м. Всего здесь известно до четырех пластов, заключающих высоко- и среднепродуктивные залежи.

Наиболее крупные месторождения нефти в Волго-Уральской провинции сосредоточены в ее центральной части, в пределах Татарского свода, представляющего собой обширное поднятие пород фундамента. Основные нефтеносные залежи приурочены преимущественно к песчаникам живетского яруса, пашийских, кыновских и шугуровских слоев, а также к карбонатным породам фаменского и турнейского ярусов, к песчаникам угленосного и песчаникам и известнякам тульского гори-

зонтов. Встречаются нефтеносные залежи и в более молодых отложениях. В каменноугольных отложениях они залегают на глубинах от 700 до 1300 м, в девонских – от 1600 до 1800 м. Каменноугольная нефть отличается от девонской более высокой плотностью, смолистостью и повышенным содержанием асфальтенов и парафина, более высоким содержанием серы и резко пониженным газовым фактором.

В южной части Татарского свода расположено крупное пологое поднятие фундамента, к одному из прогибов которого приурочено *Ромашкинское* месторождение. Нефтеносность этого месторождения связана с терригенными отложениями нижней части верхнего девона и верхней части среднего девона. Основная залежь заключена в пашийских песчаных пластах, отделенных от ниже- и вышележащих горизонтов пачками глинистых пород. К каменноугольному возрасту в Татарской АССР относится *Шугуровское* месторождение, нефтяные залежи которого приурочены к карбонатным отложениям верейского горизонта и башкирского яруса среднего карбона, серпуховского подъяруса, угленосного горизонта и турнейского яруса нижнего карбона.

В Башкирской АССР в пределах Предуральского прогиба известно более 30 нефтяных, нефтегазовых и газоконденсатных месторождений в отложениях сакмарского и артинского ярусов пермской системы. Здесь выделяется две группы залежей (рис. 47). Одна из них приурочена к погребенным рифовым массивам, развитым вдоль западного прогиба, другая – к сводам крутых узких складок, кулисообразно расположенных в самом прогибе. В первой группе залежей коллекторами нефти и газа являются линзы и гнезда пористых и кавернозных известняков и „губчатых" доломитов, а во второй – плотные трещиноватые мергели и известняки. Нефтегазоносные залежи перекрываются толщей галогенных пород кунгурского яруса, терригенными отложениями уфимского яруса, а также третичными и четвертичными образованиями.

В южной части Волго-Уральской провинции нефтегазоносные залежи связаны главным образом со средне- и верхнедевонскими и с нижне- и среднекаменноугольными отложениями. Ряд месторождений, расположенных на этой территории, относится к типу многопластовых. Наряду с газом, растворенным в нефти и проявленным в форме газовых шапок над нефтяными залежами, здесь встречаются также чисто газовые залежи, приуроченные к верхнепермским отложениям в Куйбышевской и Оренбургской областях и к средне- и нижнекаменноугольным отложениям в Саратовской и Волгоградской областях.

Первоначально считалось, что основные запасы нефти в Куйбышевской области заключены в девонских и в низах нижнекаменноугольных отложений. В 1958 г. здесь открыто *Кулешовское* месторождение, в котором продуктивными оказались отложения среднего карбона, а также породы кунгурского яруса нижней перми. На глубинах 1600–1780 м открыты продуктивные залежи малосернистой нефти в известняках башкирского яруса и песчаниках верейского горизонта среднего карбона. На *Мухановском* месторождении нефти и газа продуктивные го-

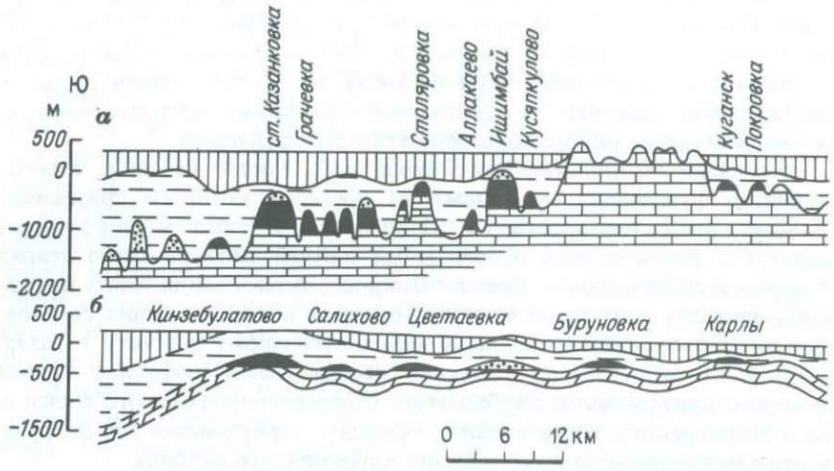
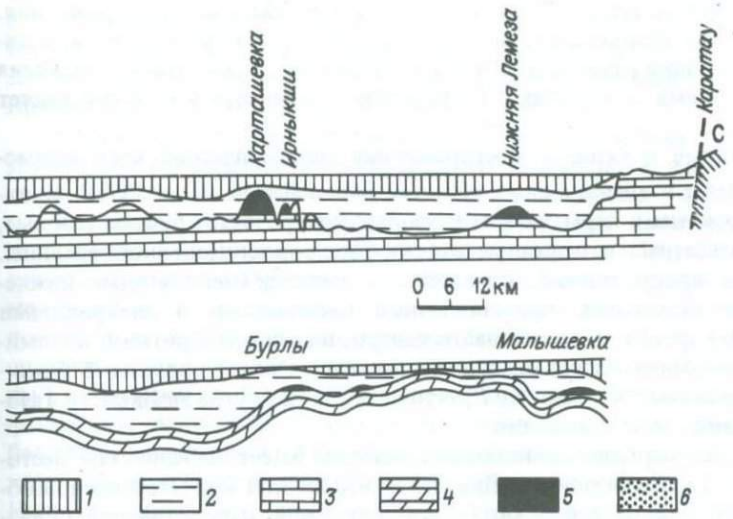


Рис. 47. Положение залежей нефти и газа в Предуральском
а – в рифовых массивах, *б* – в
1 – терригенные отложения уфимского яруса, третичной и четвертичной систем;
артинского и сакмарского ярусов; *4* – ме

ризонты установлены в пористых и кавернозных известняках и доломитах перми (калиновская свита нижнеказанского подъяруса и кунгурский ярус), нижнего карбона, а также в терригенной толще девона (пашийские слои нижнефранского подъяруса и живетский ярус). В породах калиновской свиты заключена чисто газовая залежь, а в отложениях кунгурского яруса над нефтяной залежью развита газовая шапка. К терригенным отложениям нижнего карбона и девона приурочены нефтяные залежи, и газ в них находится в растворенном состоянии. В Оренбургской области основные газонефтеносные отложения относятся к верхнему девону.

В последние годы в Оренбургской области выявлено, разведано и введено в разработку *Оренбургское* газоконденсатное месторождение. Оно приурочено к валообразному поднятию, прослеженному вдоль борта Прикаспийской впадины на протяжении около 120 км. Основная продуктивная толща слагается карбонатными породами артинского, сакмарского, ассельского ярусов нижней перми и породами верхнего и среднего карбона. Главная газовая залежь массивная, высота ее до 600 м. Она приурочена к нижней перми – среднему карбону и расположена на глубине 1600–1750 м. Газ ее содержит до 4,9% сероводорода и 60–75 $см^3/м^3$ конденсата. Сравнительно небольшие газовые залежи локального распространения имеются также в филипповском горизонте кунгурского яруса. Покрышкой служат сульфатно-галогенные породы кунгурского яруса. Мощность их достигает 800 м.



прогибе *(по К. С. Яруллину)*:
брахиантиклинальных складках;
2 – галогенные отложения кунгурского яруса; *3* – известняки и доломиты
ргели артинского яруса; *5* – нефть; *6* – газ

На безе Оренбургского месторождения создан газохимический комплекс, на котором кроме газа и конденсата добывается сера.

На территории Северного Прикаспия выявлена региональная нефтегазоносность подсолевых нижнепермских и каменноугольных отложений, залегающих в центральной части Прикаспийской впадины на глубинах до 8000 м. Здесь в 1976 г. в подсолевых известняках башкирского яруса открыто *Астраханское* газоконденсатное месторождение, мощность этажа газоносности которого превышает 200 м. Газ содержит до 12–15% сероводорода.

В Прикаспийской нефтегазоносной провинции промышленные притоки легкой нефти получены из нижнепермских подсолевых терригенных отложений на месторождениях *Кенкияк, Каратюбе* и др. В северной части Прикаспийской впадины притоки нефти и газа получены из нижнепермских рифовых известняков на месторождениях *Западно-Тепловском* и *Гремяченском*.

К верхнепалеозойским отложениям приурочены основные месторождения Тимано-Печорской нефтегазовой провинции, в состав которой входят Коми АССР и северная часть Архангельской области. Основной продуктивный комплекс – среднедевонско-нижнефранские терригенные отложения. В них выделяются несколько региональных продуктивных пластов, с которыми связаны залежи нефти, газа и газоконденсата. Разведаны и введены в разработку *Усинское, Возейское* и другие нефтяные месторождения (причем наряду с легкой нефтью имеется и тяжелая нефть, которая добывается шахтным способом),

а также *Вуктыльское, Лаявожское* и другие газовые месторождения. Вуктыльское газоконденсатное месторождение приурочено к антиклинальной складке размером 80 х 4 км. Газоносны карбонатные отложения нижней перми и карбона. Содержание конденсата в газе составляет 308 г/м^3.

Нефтяные и газовые месторождения позднепалеозойского возраста выявлены в юго-западных областях Европейской части СССР. К каменноугольным и пермским отложениям приурочены крупные газовые, газоконденсатные и нефтяные залежи Днепровско-Донецкой впадины. Основной продуктивный комплекс – верхнекаменноугольно-нижнепермские отложения, представленные песчаниками и алевролитами (верхний карбон) и трещиновато-кавернозными ангидритами, доломитами и доломитизированными известняками. С ними связаны *Шебелинское, Ефремовское, Западно-Крестищенское* и другие газовые и газоконденсатные месторождения.

Большое народнохозяйственное значение имеет Шебелинское месторождение, расположенное в Днепровско-Донецкой нефтегазоносной области. Оно приурочено к брахиантиклинальной асимметричной складке, осложненной многочисленными тектоническими нарушениями. Продуктивны нижнепермские и верхнекаменноугольные отложения, заключающие 14 газоносных горизонтов, и триасовые отложения, включающие один горизонт. Глубина залегания продуктивных горизонтов находится в интервале 750–2050 м.

Менее крупными масштабами характеризуется разрабатываемое здесь с 1967 г. Ефремовское месторождение. Продуктивные горизонты, залегающие на глубине 2550–3250 м, приурочены к отложениям нижней перми и верхнего карбона, представленным чередованием песчаников, алевролитов и глин. Промышленные притоки нефти получены из девонских отложений юго-восточной части Белоруссии, где продуктивные комплексы приурочены к подсолевым (эйфельско-франским) и межсолевым (нижнефаменским) отложениям Припятского прогиба.

В последние годы установлена нефтегазоносность верхнепалеозойских отложений юго-восточных районов Западной Сибири. Они здесь входят в состав доюрского фундамента и представлены карбонатными, терригенными и эффузивно-осадочными породами.

УГОЛЬ

Огромное экономическое значение имеют карбоновые и пермские месторождения угля, с которыми связана подавляющая часть мировых разведанных запасов угля и угледобычи.

Месторождения угля девонского возраста обычно отличаются малыми размерами, низким качеством углей и имеют ничтожное практическое значение. На территории СССР к ним относятся Барзасское месторождение в северо-восточной части Кузнецкого бассейна, Убрусское

в Минусинской котловине и Волонгское на Чешской губе. Запасы этих месторождений составляют всего 0,001% от общих запасов угля в СССР. Девонские угли известны также в Подмосковном бассейне, в Западном Приуралье и в Казахстане, но запасы их не учтены.

К переходным образованиям от девона к карбону приурочены мелкие месторождения каменных углей Норвегии, в которых угленосные отложения содержат три пласта угля мощностью от 0,5 до 1,2 м.

Угленосные отложения карбона и перми, как паралические, так и лимнические, широко распространены главным образом на континентах северного полушария, где они расположены преимущественно между 30 и 60° с. ш. Сюда относятся мощные скопления углей в отложениях верхнего карбона Западной Европы в пределах герцинских складчатых сооружений – так называемая „главная угольная ось Европы", включающая Великобританские, Рурский (Нижнерейнско-Вестфальский), Аахенский, Саарский, Бельгийский и Северо-Французский бассейны, а также угли Астурии. Каменноугольные отложения слагают крупнейшие угленосные бассейны США (Аппалачский, Пенсильванский, Иллинойс, Мичиган и Западный Техас), а также бассейны северо-восточных провинций КНР.

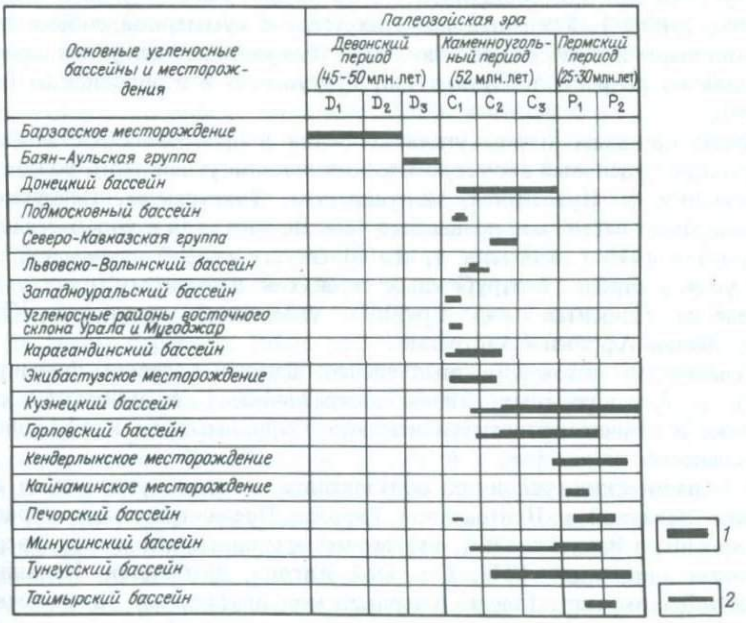


Рис. 48. Возраст и продолжительность углеобразования в основных верхнепалеозойских бассейнах и месторождениях СССР *(по А. К. Матвееву)*:

1 – основные угленосные горизонты; *2* – второстепенные и непромышленные угленосные горизонты

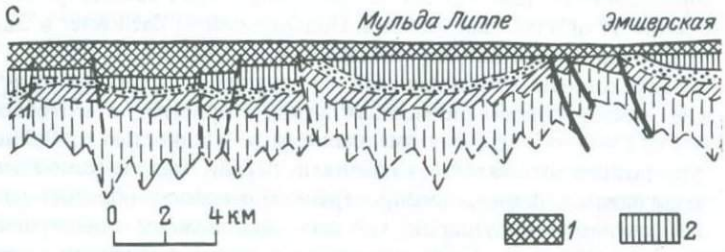


Рис. 49. Разрез через Нижнерейнско-

1 – покровные отложения; *2–5* – угли: *2* – длиннопламенные,

В СССР к каменноугольной системе относятся угли Донецкого бассейна, Львовско-Волынского района, Кавказа, Подмосковного, Камского и Карагандинского бассейнов, ряда промышленных месторождений Урала и Казахстана, а также нижних горизонтов угленосных толщ Кузнецкого, Минусинского и Тунгусского бассейнов, которые ранее датировались пермью. Геологические запасы углей карбонового этапа угленакопления составляют 7% от общих запасов угля в стране (подсчет 1980 г.). Удельный вес этих углей в суммарной добыче значительно выше и в 1979 г. составил 49% (без учета добычи углей пермокарбонового возраста в Кузнецком, Тунгусском и Минусинском бассейнах).

Более крупным этапом угленакопления в пределах СССР оказался пермский; удельный вес геологических запасов углей этого возраста, заключенных в Кузнецком, Минусинском, Тунгусском, Печорском и Таймырском бассейнах, превышает 48%. Добыча угля в этих бассейнах составила в 1979 г. 183 млн. т, что соответствует 26% суммарной добычи угля в стране. В зарубежных странах к пермскому этапу угленакопления относится ряд крупных угленосных площадей КНР, Индии, Южной Африки и Австралии.

Угленосные отложения позднепалеозойского возраста формировались в благоприятных физико-географических и климатических условиях и обычно отличаются исключительно высоким коэффициентом угленосности.

В паралических условиях образовались мощные угленосные отложения Западной и Центральной Европы, Предаппалачского передового прогиба и Вичита в США, а также менее мощные отложения северовосточных провинций КНР, Северной Англии, Шотландии, Ирландии и восточной окраины Северо-Американской платформы. Лимническими образованиями считают угленосные отложения Северных Аппалачей, Саарского бассейна, Французского Центрального плато, Бриансонской зоны Альп, Балкан, Северного Кавказа, Тунгусского, Кузнецкого и Минусинского бассейнов, а также ряда более мелких месторождений.

Вестфальский (Рурский бассейн):
3 – газовые, *4* – жирные, *5* – тощие; *6* – сброс; *7* – надвиг

Возраст и продолжительность углеобразования в основных верхнепалеозойских угленосных бассейнах и месторождениях СССР представлены на рис. 48.

Крупнейший в Западной Европе *Рурский* угленосный бассейн (рис. 49) расположен в нижнем течении р. Рейна в пределах ФРГ. Общая площадь распространения продуктивных угленосных отложений, представленных здесь осадками вестфальского и в незначительной мере стефанского ярусов, превышает 6000 км². Продуктивная толща отличается исключительно высокой угленасыщенностью: угленосность составляет около 50 млн. т на 1 км². Здесь насчитывается 80 угольных пластов суммарной мощностью 84 м, из которых 55 пластов обладают рабочей мощностью. Угли бассейна характеризуются высоким качеством и разнообразным марочным составом – от длиннопламенных до тощих – при высоком удельном весе разностей, пригодных для коксования.

Достоверные запасы углей Рурского бассейна, подсчитанные до глубины 1200 м, превышают 30 млрд. т. Средняя глубина разработок в главном районе добычи – более 700 м, а в ряде шахт – более 1000 м.

На левом берегу р. Рейна расположен *Крефельдский* бассейн, являющийся непосредственным продолжением Рурского бассейна. Угленосные отложения бассейна заключают до 30 пластов угля.

Большой угленасыщенностью отличаются отложения *Саарского* каменноугольного бассейна (вестфальский и стефанский ярусы). Доступные для разработки угленосные отложения распространены на площади 450 км², характеризуются весьма большой мощностью (до 5000 м) и заключают 350 пластов угля, из которых около 80 пластов суммарной мощностью 90 м являются рабочими. Пласты нередко имеют сложное строение и состоят из большого количества тонких прослоев. Достоверные запасы бассейна до глубины 1200 м оцениваются в 8 млрд. т, а общие запасы вдвое превышают эту цифру.

Аахенский бассейн сходен по характеру углеленосных осадков с Рурским. Бассейн состоит из двух мульд, в которых насчитывается до 45 пластов угля средней мощностью 1 м. Угли отличаются разнообразным составом и изменяются от жирных до антрацитов. Годовая

добыча угля в Аахенском бассейне составляла за последние годы 6–7 млн. т. Средняя глубина разработок достигла 630 м. Общие запасы 7,1 млн. т.

Продолжением Саарского бассейна к западу является *Лотарингский* бассейн, расположенный на территории Франции. Угленосные отложения весфальского возраста мощностью в 300 м заключают 73 угольных пласта суммарной мощностью более 75 м. Угли преимущественно жирные и длиннопламенные, глубина их залегания достигает 600 м. Средняя мощность разрабатываемых пластов колеблется от 1,5 до 1,8 м.

В угленосных карбоновых отложениях *Северного* бассейна (Франция) угленосная толща мощностью 2000 м содержит 50 пластов угля общей мощностью около 40 м. Разрабатываются пласты угля мощностью не менее 0,35 м с содержанием летучих от 7 до 30%.

Более молодые месторождения угля восточной части Центральной Франции частично относятся к стефанскому ярусу карбона, а частично – к перми. По запасам и добыче угля они значительно уступают Лотарингскому и Северному бассейнам.

На продолжении Северного Аахенского бассейна в пределах Намюрской мульды расположен *Главный* (Центральный) угленосный район Бельгии. Он занимает площадь около 1500 км² и протягивается через города Льеж, Монс, Шарлеруа, Намюр. Угленосная толща этого района мощностью 2000–2500 м содержит более 150 угольных пластов суммарной мощностью до 60 м. Угли отличаются разнообразным составом и высоким качеством. Около 50% углей – коксующиеся разности.

Продолжением этой угленосной площади является *Лимбургский* каменноугольный бассейн *Нидерландов*, запасы которого до глубины 30 м оцениваются в 3 млрд. т.

Широко распространены угленосные отложения карбона на территории Великобритании, где главная часть запасов и добычи угля (около 80%) сосредоточена в пяти каменноугольных бассейнах – *Йоркширском, Южно-Уэльсском, Дургамском, Нортумберлендском, Кемберлендском* и *Шотландском*. Наиболее крупный из них Йоркширский бассейн занимает площадь около 6000 км² и включает от 15 до 21 рабочих пластов угля мощностью от 1 до 3 м. Крупные запасы углей разведаны в Южно-Уэльсском и Шотландском бассейнах. Оба эти бассейна отличаются высокой углеплотностью: на 1 км² площади приходится 16–22 млн. т угля.

Угольные месторождения характеризуются благоприятными горно-геологическими условиями. Глубина залегания пластов колеблется от 200 до 800 м при средней глубине 360 м. Средняя мощность пластов 0,9–2 м. Угли отличаются высоким качеством, и значительная часть их пригодна для коксования. К 1985 г. добычу угля в Великобритании предусмотрено довести до 150 млн. т, в том числе около 10 млн. т. на месторождении *Селби* (Йоркшир), достоверные запасы которого оцениваются в 500 млн. т, и на подводно-морском месторождении *Дургам* (запасы 550 млн. т).

Новое месторождение каменного угля *Вейл-Бельвуар* открыто между городами Гранэм и Мелтон-Моубрай. Площадь его составляет примерно 200 км². Вскрыто шесть пластов угля, залегающих на глубине 400–800 м.

Большие запасы высококачественных каменных углей (около 100 млрд. т) сосредоточены в *Верхнесилезском* бассейне. Общая площадь его составляет 5400 км², из которых 4500 км² находятся на территории Польши и 900 км² – в пределах Чехословакии. В этом бассейне угленосность приурочена к отложениям намюрского и вестфальского ярусов карбона. Нижние угленосные отложения бассейна носят паралический характер, верхние – лимнический. В бассейне насчитывается от 30 до 92 пластов угля суммарной мощностью 140 м. Угли разной степени углефикации. Большой практический интерес представляет Рыбникский район, обладающий коксующимися углями. Запасы таких углей до глубины 1000 м составляют не менее 12 млрд. т, при общих запасах 100 млрд. т.

В пределах Чехословакии продуктивная толща Верхнесилезского бассейна содержит 92 угольных пласта мощностью от 0,4 до 1,75 м. В республике известен также ряд других небольших месторождений угля карбонового возраста, расположенных в *Пльзеньском, Шацларском, Росицком* и *Кладно-Раковицком* угленосных районах, однако часть из них относится уже к перми.

Месторождения угля карбонового возраста известны в ряде районов Испании. Наиболее крупным из них является *Астурийский* бассейн, в котором насчитывается несколько десятков пластов общей мощностью 34 м. В Италии небольшие по масштабу месторождения карбонатных углей расположены в Альпах и на о. Сардиния. Угли большей частью относятся к антрацитам, частью графитизированным.

Общие запасы каменных верхнепалеозойских углей Западной Европы составили на начало 1981 г. 426,8 млрд. т, из них достоверные – 164,9 млрд. т, в том числе в Великобритании соответственно – 163 и 99, ФРГ – 227 и 59,5, Франции – 29,6 и 1,4, Нидерландах – 3,7 и 3,4, Испании – 1,4 и 1,3 млрд. т.

В СССР расположен один из крупнейших угленосных бассейнов каменноугольного возраста в Европе – *Донецкий*, промышленная угленосность которого распространена на площади 60 тыс. км² и приурочена к отложениям карбона от свиты C_1^2 до свиты C_2^3 (рис. 50). Всего в бассейне насчитывается до 100 пластов рабочей мощности, из которых 60–65 пластов разрабатываются. В отложениях нижнего карбона заключено от 5 до 30 рабочих угольных пластов, в отложениях среднего карбона – около 70 пластов и в отложениях верхнего карбона – до 7 пластов.

Мощность угольных пластов обычно колеблется от 0,5 до 1,3 м; пласты мощностью 1,5 м и выше встречаются редко, и только в западной части бассейна мощность пластов углей нижнего карбона достигает 4–5 м. Часть угольных пластов бассейна залегает на значительных глубинах, местами превышающих 1800 м, однако большая часть разведанных запасов углей сосредоточена на глубинах до 1200 м.

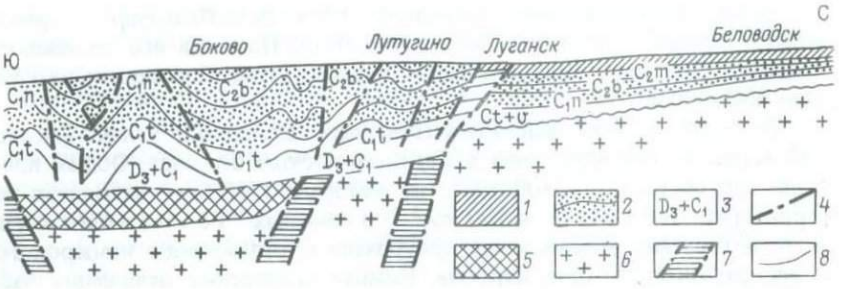


Рис. 50. Геолого-структурный разрез Донецкого бассейна *(по Н. И. Погребнову)* :

1 – надугленосные мел-палеогеновые отложения; *2* – угленосная формация; *3* – подугленосные отложения; *4* – разрывные нарушения; *5* – рифейские отложения; *6* – кристаллические породы; *7* – зоны разломов; *8* – маркирующие горизонты

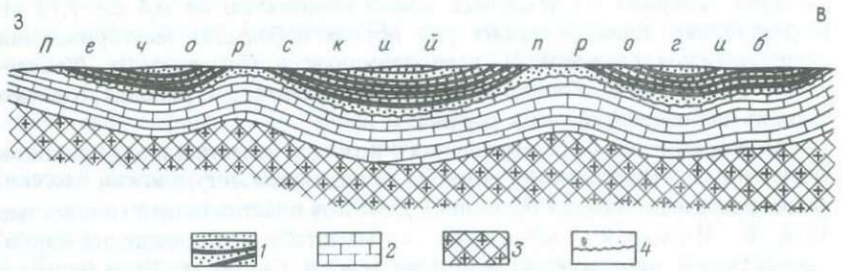


Рис. 51. Геолого-структурный разрез Печорского бассейна *(по Н. И. Погребнову)* :

1 – угленосная формация; *2* – подугленосная морская толща; *3* – нижнепалеозойские отложения, области герцинской складчатости; *4* – поверхность несогласного залегания

Более 27% запасов углей бассейна приходится на коксующиеся, 73% – на энергетические. Степень метаморфизма каменных углей среднего карбона возрастает с запада на восток: от длиннопламенных и газовых до тощих антрацитов. Геологические запасы бассейна оцениваются в 141 млрд. т.

Донецкий бассейн имеет огромное народнохозяйственное значение. Добыча углей в бассейне в 1979 г. достигла 212 млн. т, или 29% от общей добычи углей по СССР.

Крупные ресурсы углей сосредоточены в *Печорском* бассейне. Здесь угленосны отложения перми и нижнего карбона (рис. 51). Общая площадь бассейна составляет около 120 тыс. км^2. Площадь распространения пермских угленосных отложений, определяющих основные перспективы бассейна, достигает 38 тыс. км^2, мощность их изменяет-

ся от 1500 м на юге до 7800 м на северо-востоке. Угольные пласты приурочены к аргиллито-алевролитовым породам. Всего в разрезе пермских отложений известно более 250 пластов и пропластков угля, из которых около 50 пластов имеют общую рабочую мощность. Отдельные очень сложные пласты достигают мощности 28 м. В нижнекаменноугольных отложениях известны только два пласта рабочей мощности.

На западе и юго-западе бассейна преобладают длиннопламенные и газовые угли, на восток-северо-востоке – спекающиеся (марок Ж, К и ОС), также тощие и полуантрациты. Геологические запасы углей оцениваются в 265 млрд. т. В 1979 г. добыто 29 млт. т.

К визейскому ярусу нижнего карбона приурочена угленосная толща *Кизеловского* бассейна, представленная песчано-глинистыми континентальными и прибрежно-морскими осадками. Бассейн занимает складчатую часть западного склона Урала и является типичным представителем бассейнов, переходных от геосинклинальных к платформенным. Угленосная толща мощностью от 160 до 250 м включает свыше 20 пластов и пропластков каменного угля, приуроченных преимущественно к ее средней части. Угли Кизеловского бассейна способны спекаться при высоком выходе весьма ценных химических продуктов, и поэтому, несмотря на сравнительно высокую зольность (в среднем около 23%), они являются ценным сырьем для химической и коксовой промышленности.

К карбонатному возрасту относятся каменные угли *Львовско-Волынского* района и Северного Кавказа, а также бурые угли *Подмосковного* бассейна.

Промышленная угленосность Подмосковного буроугольного бассейна, занимающего огромную площадь в пределах Калининской, Смоленской, Калужской, Московской, Тульской и Рязанской областей, приурочена к угленосной свите и в меньшей степени к тульским отложениям нижнего карбона. Угли бассейна гумусовые, иногда с небольшими прослоями сапропелитовых разностей. Геологические запасы угля 15,5 млрд. т., добыча 1979 г. – 27 млн. т.

Сравнительно недавно угленосные отложения в основном нижневизейского возраста (местами верхнетурнейские или средневизейские до намюрских) обнаружены буровыми скважинами на территории Татарской АССР. Здесь на глубинах от 1000 до 1800 м вскрыты отдельные залежи угля протяженностью до 8 км и мощностью от 2 до 21 м. Мощности отдельных угольных прослоев, составляющих угольную залежь, изменяются от нескольких сантиметров до 3–5 м, редко до 8 м.

В Азии наиболее крупные ресурсы верхнепалеозойских углей сосредоточены на территории СССР, где расположены такие крупные бассейны, как Кузнецкий, Горловский, Тунгусский, Таймырский, Минусинский, Карагандинский. По последним подсчетам, суммарные геологические запасы углей этих бассейнов превышают 2,9 трлн. т.

Исключительно большое народнохозяйственное значение имеет *Кузнецкий* бассейн, являющийся главным источником коксующих-

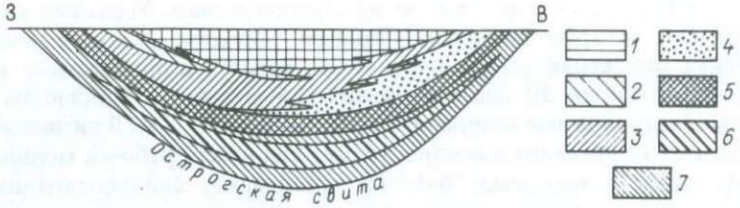


Рис. 52. Схема накопления угленосных палеозойских осадков Кузнецкой котловины *(по И. И. Молчанову)* :

1 – ерунаковская свита; *2–3* – ильинская свита: *2* – речные фации, промышленно угленосные (ускатская подсвита), *3* – озерные фации, промышленно неугленосные (маркинская подсвита); *4* – красноярская фация; *5* – кузнецкая свита; *6* – озерные фации ишановской и промежуточной подсвит верхнебалахонской свиты; *7* – верхне- и нижнебалаховская свиты

ся углей в восточных районах СССР. Угленосные отложения бассейна распространены на площади 27 тыс. км², мощность их 5500–8800 м. Они представлены осадками от нижнекаменноугольных до четвертичных и слагают крупную структуру типа синклинория, осложненную многочисленными складками второго порядка и разрывными нарушениями. Схема накопления угленосных палеозойских осадков Кузнецкого бассейна приведена на рис. 52.

Всего в пределах бассейна известно пять продуктивных свит. Две нижние свиты – нижнебалахонская ($C_2 + C_3$) и верхнебалахонская (P_1), представленные песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углистыми породами, содержат многочисленные пласты рабочей мощности с углями энергетических и коксующихся марок. Выше, отделенные от балахонских свит отложениями непродуктивной кузнецкой свиты (P_1), залегают две свиты – ильинская и ерунаковская – верхнепермского возраста. В ильинской свите отсутствуют пласты рабочей мощности, в ерунаковской их насчитывается более 50. Выше указанных свит залегают отложения конгломератовой свиты юрского возраста, в ряде мест содержащие пласты рабочей мощности с углями, переходными от длиннопламенных к бурным.

Угли Кузнецкого бассейна отличаются высокой теплотой сгорания до 36 кДж/кг, небольшим содержанием серы, редко достигающим 1,0 % и золы – от 5 до 12 %. Общие геологические запасы Кузнецкого бассейна оцениваются в 636 млрд. т, из которых 0,08 млрд. т приходится на девонские отложения, 60 – на карбоновые, 566 – на пермские и 10 млрд. т – на юрские. В 1979 г. было добыто 148 млн. т.

Северо-западным продолжением Кузнецкого бассейна является *Горловский* антрацитовый бассейн, угленосность которого подчинена отложениям раннепермского возраста. Последние слагают узкий синклинорий (протяжением около 100 км при ширине от 1,5 до 7,5 км) с крутым падением крыльев, крайне осложненных дизъюнктивными нарушениями. Здесь установлено до 15 угольных пластов суммарной

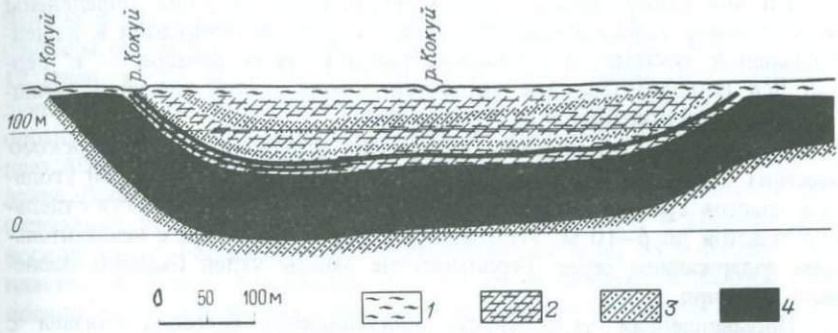


Рис. 53. Разрез Кокуйского месторождения по пласту Мощному *(по А. К. Матвееву)* :
1 – глины; *2* – алевролиты; *3* – песчаники среднезернистые; *4* – уголь

мощностью 42 м при мощности отдельных пластов от 1,2 до 7,8 м. Угли бассейна представлены высокосортными антрацитами. Геологические запасы их оцениваются в 6,8 млрд. т.

Наиболее крупные в мире ресурсы углей позднепалеозойского возраста сосредоточены в *Тунгусском* бассейне, который сложен горизонтально или полого (под углом 3–5°) залегающими озерно-континентальными песчано-глинистыми отложениями карбона, перми и триаса. Только в западной и северо-западной частях бассейна наблюдается складчатость, сопровождаемая дизъюнктивными нарушениями. Угленосные отложения занимают значительную часть Сибирской платформы; общая площадь распространения продуктивных пород превышает 1 млн. км^2. Мощность их весьма непостоянна и колеблется от 100 до 1500 м. На большей части бассейна, особенно в его центральной части, угленосные отложения перекрыты эффузивно-туфогенной толщей мощностью 900–1200 м, условно относимой к триасу и верхней перми. Широко проявлена магматическая деятельность, выраженная в форме многочисленных пластовых и секущих тел основных пород, мощность которых нередко достигает 50–100 м. Внедрение этих пород обусловило интенсивный метаморфизм угольных пластов, особенно сильно проявившийся в западной части бассейна.

В центральной части бассейна в угленосной свите известно от двух до четырех пластов угля, а в районе Норильска и на Кокуйском месторождении число их увеличивается до 20. Преобладающая мощность пластов 1–2 м. В Норильском районе отдельные пласты достигают мощности 5–15 м. На Кокуйском месторождении верхний пласт имеет мощность 60–70 м (рис. 53). В связи с различной степенью метаморфизма здесь развиты весьма пестрые по качеству угли – от длиннопламенных , переходных к бурным, до антрацитов, паровично-спекающихся, паровично-жирных и коксовых. Зольность угля обычно не превышает 8–13 %, теплота сгорания на горючую массу составляет 28,9–35,6 кДж/кг.

Геологические запасы углей Тунгусского бассейна определены в 2299 млрд. т, из которых 203 млрд. т. условно относится к каменноугольной системе, а остальная, главная часть запасов – к перми. Вся площадь бассейна находится в зоне вечной мерзлоты, мощность которой колеблется от 5–10 до 300 м.

К пермским отложениям приурочена угленосность *Таймырского* бассейна. Здесь до глубины 600 м насчитывается примерно 30 угольных пластов суммарной мощностью около 48 м при мощности отдельных пластов до 6–10 м. Угли малозольные, гумусовые, с незначительным содержанием серы. Геологические запасы углей бассейна оценены в 217 млрд. т.

Промышленная угленосность *Минусинского* бассейна связана с черногорской (C_2 и C_3), белоярской (C_3 и P_1) и нарылковской (P_1) свитами, которые заключают до 80 пластов и прослойков угля, в том числе от 7 до 40 пластов рабочей мощности. Угли относятся к маркам Т и Д и используются в качестве энергетического топлива. Геологические запасы углей бассейна составляют 29 млрд. т.

Большое экономическое значение имеет *Карагандинский* бассейн. Каменные угли бассейна приурочены к отложениям нижнего и среднего карбона, суммарная мощность которых достигает 4000 м. В юрских отложениях развиты бурые угли. Бассейн характеризуется высоким коэффициентом угленосности, колеблющимся по отдельным свитам от 2,3 до 7. Здесь известно до 58 рабочих пластов угля общей мощностью 80–105 м. Угли относятся к каменным гумусовым. Общие геологические запасы бассейна определены в 45 млрд. т, из которых 39 млрд. т относятся к нижнему карбону, 2,5 млрд. т. – к среднему карбону и 3,5 млрд. т – к юре. В 1979 г. добыто 43 млн. т.

Значительные месторождения верхнепалеозойских углей известны на территории *КНР*, преимущественно в его северных районах, где они приурочены к отложениям карбона и перми. Один из наиболее крупных – *Датунский* бассейн гумусовых углей – расположен в юго-восточной части провинции Шаньси. Он прослежен в длину на 300 км при ширине около 100 км. Запасы угля до глубины 750 м оцениваются в 50 млрд. т. Угленосны преимущественно пермские отложения. Огромные ресурсы каменного угля сосредоточены в северной части Шаньси, где угленосные отложения прослежены на площади 700 х 600 км.

В Южной Корее каменные угли этого возраста распространены менее широко. Они представлены преимущественно антрацитами и подчинены пермским песчано-глинистым отложениям. В пределах КНДР эти отложения слагают *Пхеньянский* бассейн и развиты в районе г. Аньчжу.

Угленосные отложения большинства бассейнов Индии относятся к нижнегондванской формации (верхний карбон – триас). Наибольший интерес представляет угленосная серия дамуда (Р) общей мощностью до 1600 м. Запасы углей (с зольностью не более 20–25% на безводную массу) в пластах мощностью не менее 1,2 м, залегающих не глубже 300 м, оцениваются в 20 млрд. т, из них пригодно для коксования немногим более 1 млрд. т.

По количеству и качеству углей выделяется месторождение *Джария*. Запасы месторождения, подсчитанные на площади около 450 км² до глубины 600 м при суммарной мощности пластов до 22 м, составляют 12 млрд. т. Значительная часть углей (более 2 млрд. т) относится к лучшим маркам коксующихся углей. До глубины 300 м запасы их определяются в 800 млн. т. Добыча на этом месторождении составляет 40% от общей добычи углей в Индии. Другое крупное месторождение *Ранигандж* расположено в 20 км от Калькутты. Продуктивные отложения установлены здесь на площади 1300 км². В верхней угленосной свите насчитывается 10 угольных пластов, из которых пять пластов обладают мощностью от 3 до 5,4 м каждый. В нижней угленосной свите содержится семь рабочих пластов суммарной мощностью около 6 м. Угли преимущественно газовые; часть из них пригодна для производства кокса. Угли нижней свиты отличаются повышенной влажностью. Запасы месторождения до глубины 600 м определены в 19 млрд. т. Добыча углей на этом месторождении составляет 1/3 всей добычи угля в стране. Разработка ведется на глубине до 450 м.

Общие запасы углей Индии оцениваются в 85,7 млрд. т, в том числе достоверные – 23,1 млрд. т; в 1980 г. добыча их достигла 114 млн. т.

Из других стран Азии промышленными месторождениями углей обладает Турция. Основным здесь является *Зонгулдакский* бассейн, угленосные отложения которого относятся к среднему карбону и заключают до 30 угольных пластов суммарной мощностью 33,5 м. Угли в основном жирные, коксующиеся, малосернистые. Общие запасы их до 3 млрд. т, из них разведанные – 150 млн. т; в 1980 г. добыто 4 млн. т.

Крупнейшие запасы углей каменноугольного возраста сосредоточены в Северной Америке. Первое место в капиталистическом мире по запасам и добыче углей занимают США. Здесь выделяется ряд крупных угленосных областей, среди которых наибольшее значение имеет Восточная угленосная область, включающая Аппалачский бассейн битуминозных углей, Пенсильванский бассейн антрацитовых углей и ряд менее крупных угленосных площадей в штатах Виргиния и Северная Каролина. Значительные запасы высококачественных углей каменноугольного возраста (антрацитов, полубитуминозных, битуминозных) сосредоточены также во внутренней угленосной области, в районе Великих озер, в бассейне Миссисипи и Техасе.

Аппалачский бассейн занимает первое место в капиталистическом мире по запасам и добыче каменных углей; бóльшая часть их пригодна для производства кокса. Угленосные отложения бассейна относятся преимущественно к пенсильванскому, в меньшей мере к миссисипскому отделу каменноугольной системы и слагают крупную синклинальную складку. Они распространены на огромной площади в 180 тыс. км², включающей территорию ряда восточных штатов: Западной Виргинии, Кентукки, Алабамы, Огайо и Пенсильвании.

Здесь выявлено до 30 угольных пластов, из которых разрабатываются пласты мощностью от 1 до 3 м. Общие запасы высококачествен-

ных углей бассейна оцениваются в 400–450 млрд. т. Годовая добыча углей составляет примерно 300 млн. т. Угли характеризуются большим разнообразием; наиболее метаморфизованные разности залегают в восточной части бассейна, где разрабатываются преимущественно антрациты.

Угленосные отложения *Пенсильванского* бассейна мощностью до 1000 м целиком относятся к пенсильванскому отделу карбона и заключают от 10 до 27 пластов антрацитовых и битуминозных углей суммарной мощностью 47 м. Мощность отдельных пластов изменяется в широких пределах. Наиболее мощный пласт „Мамонт" местами достигает мощности 12–20 м.

В отличие от каменноугольных бассейнов Западной и Центральной Европы для угленосных бассейнов США характерны небольшое число угольных пластов и невысокая углеплотность; последняя обычно не превышает 2–3 млн. т на 1 км^2. Вместе с тем угольные месторождения США отличаются благоприятными горно-геологическими условиями разработки. Угольные залежи выдержаны на больших площадях, часто залегают близко к поверхности, и в связи с этим примерно 1/3 добычи в стране осуществляется открытым способом. С учетом мезозойских месторождений общие запасы каменных углей США оцениваются в 1030 млрд. т, а достоверные – в 240 млрд. т, в 1980 г. добыто 758 млн. т.

Ряд промышленных месторождений битуминозных углей известен в Канаде, главным образом в Новой Шотландии и Нью–Брансуике. Угленосные отложения относятся к верхнему карбону и обычно заключают от двух до пяти угольных пластов мощностью от 0,75 до 6–7 м. Часть углей пригодна для производства кокса. Угольные пласты нередко залегают на большой глубине и разбиты сбросами. Глубина горных выработок превышает 1100 м. Общие запасы верхнепалеозойских углей Канады оцениваются в 75 млрд. т, а достоверные в 12 млрд. т; в 1980 г. добыча их достигла 16,5 млн. т.

Месторождения угля каменноугольного возраста известны и в южной части Бразилии. В штате Риу-Гранди-ду-Сул разрабатывается угольный пласт мощностью 0,8–1,7 м, в Санта-Катарина – мощностью 0,5–1,3 м. Зольность углей колеблется от 28 до 48%. Теплота сгорания – 6 тыс. ккал/кг. Общие запасы каменного угля в стране из них пригодна для коксования. В 1980 г. добыто 5 млн. т.

Месторождения угля позднепалеозойского возраста разрабатываются в ряде районов Африки. Наиболее крупные из них сосредоточены в ЮАР, где они подчинены песчано-глинистым отложениям системы карру ($C_3 - J_2$). Угли отличаются разнообразным составом и вблизи прорывающих их интрузивных пород переходят в коксовые или в антрацит. Общие запасы углей оцениваются в 200 млрд. т, а достоверные – в 80 млрд. т. В 1980 г. добыто 123 млн. т.

В Зимбабве по запасам и масштабу добычи угля выделяется бассейн *Уанки* (Ванки), расположенный на западе страны. Угленосные отложения, представленные песчаниками и сланцами, относятся также к системе карру и заключают несколько пластов мощностью

от 2 до 12 м. Угли каменные, спекающиеся и частью коксующиеся. Верхнепалеозойскими являются и угленосные отложения бассейна *Саби* с коксующимися углями, развитыми на востоке страны. Общие запасы углей Зимбабве оцениваются в 7 млрд. т, а достоверные в 1,7 млрд. т. В 1980 г. добыто 3,1 млн. т.

Ряд месторождений каменного угля, приуроченных к отложениям серии экка, разведан в последнее время в Ботсване. Общие их запасы оцениваются в 60 млрд. т, а достоверные – в 40 млрд. т. К этому же возрасту относятся сравнительно небольшие месторождения угля Заира. Несколько месторождений угля карбонового возраста разрабатывается в Алжире. Угли отличаются высоким качеством и пригодны для коксования. Мощность рабочих пластов обычно составляет 0,4–0,5 м. Общие запасы оцениваются в 100 млн. т.

В Марокко аналогичные по масштабу месторождения приурочены к вестфальскому ярусу среднего карбона.

Многочисленные месторождения пермских углей известны в Австралии. Наиболее крупный бассейн – *Новый Южный Уэльс* – занимает площадь около 45 тыс. км^2. Битуминозные угли бассейна хорошего качества и пригодны для производства кокса. Содержание в них летучих достигает 40%, золы 5–5%, серы около 1%. Угленосные отложения содержат до 13 пластов, мощность которых колеблется от 1,2 до 9 м. К северу от этой угленосной площади расположен ряд менее крупных бассейнов, угленосные площади которых также сложены породами перми. В них заключено пять угольных пластов суммарной мощностью до 9 м, реже до 30 м. Угли разнообразные – от длиннопламенных до антрацитов. Пермские угленосные отложения известны также в западной части страны.

Месторождения углей в Австралии разведаны недостаточно. Общие запасы их оцениваются в 654 млрд. т, из которых достоверные запасы составляют только 59 млрд. т.

Преобладающая часть запасов каменных углей (около 95%) приходится на штаты Новый Южный Уэльс и Квинсленд; значительная их часть представлена коксующимися разностями. Примерно 20% запасов угля Квинсленда и 10% Нового Южного Уэльса пригодны для добычи открытым способом. В 1980 г. добыто 94,3 млн. т.

Угленосные отложения предположительно пермского возраста занимают, по-видимому, обширные площади в Антарктиде. В прибрежной полосе они прослеживаются от побережья земель Адели и Виктории до ледника Бердмор. Мощность угленосных отложений достигает 450 м, при общей мощности угольных пластов до 6–7 м. Угли разной степени углефикации – от лигнитов до битуминозных.

УРАН

Значительные ресурсы урана заключены в различных песчаниках, битуминозных сланцах, форфатных породах, каменных углях позднепалеозойского возраста. Особенно широко урановосные породы

этого возраста распространены в США, где на ряде месторождений уже начато извлечение из них урана в промышленных масштабах.

Большое значение в этом отношении придается пермской формации фосфориа, распространенной на значительной территории (около 350 тыс. км^2) в штатах Айдахо, Монтана, Юта и Вайоминг. Содержание урана в фосфоритных породах колеблется в широких пределах и местами достигает 0,065%, но в продуктивных пластах промышленной мощности (более 0,9 м), заключающих не менее 30% P_2O_5, оно обычно составляет 0,008–0,015%, реже 0,02%.

В юго-западной части Монтаны, где общие запасы фосфоритов оцениваются в 8 млрд. т, запасы урана в фосфоритах с содержанием P_2O_5 более 31% составляют 32,7 тыс. т (0,009% U), более 24% – 381,3 (0,006% U), более 18% – 1134,1 тыс. т (0,0061% U).

Более низким содержанием урана (менее 0,005%) характеризуются битуминозные (черные) сланцы чаттануга. В штате Теннесси верхний горизонт этих сланцев мощностью 4,5 м содержит в среднем 0,006% урана, сравнительно равномерно распределенного в породах, которые развиты на площади в тысячи квадратных километров.

В верхнепалеозойских каменных углях США среднее содержание урана составляет около 0,001%, реже 0,005%. В центральной части Пенсильвании обнаружены угли, содержащие до 0,019% урана.

Урановое оруденение известно также в районе плато Колорадо в пермских песчаниках свиты коконино; к красноцветным пермским песчаникам приурочены небольшие месторождения в северном Техасе и Оклахоме. Часто упоминается в литературе оруденение в месторождении Панхандл, представленное желваками ураноносных асфальтитов, локализующихся над газоносными горизонтами в пермских и верхнекарбоновых известняках; однако практического значения эти руды пока не имеют.

В Канаде урано-ванадиевая минерализация, приуроченная к нижнепермским терригенным отложениям, установлена в южной части залива Святого Лаврентия на О. Принца Эдуарда и тяготеет к зеленовато-серым участкам, развитым в красноцветных породах вокруг углефицированных растительных остатков. Промышленное значение этих рудопроявлений пока неясно.

В Аргентине урановое оруденение в верхнепалеозойских (верхнекарбоновых и пермских) отложениях развито в области предгорных хребтов Андийских Кордильер; наиболее интересно крупнейшее в стране месторождение *Сьерра-Пинтада* (16 тыс. т урана при среднем его содержании 0,1%), приуроченное к грубозернистым песчаникам и конгломератам пермского возраста, залегающим на карбоновых порфиритах, отличающихся повышенной радиоактивностью. Руды секутся сбросами третичного времени.

В Африке верхнепалеозойское урановое оруденение выявлено в северо-восточной части Мали-Нигерской синеклизы – одного из крупнейших геотектонических сооружений Сахарской платформы. Рудные тела известны как в отложениях нижнего карбона (серия тагор), так и в мезозойских песчаниках.

Наиболее крупные промышленно интересные месторождения *Арли* (17 тыс. т урана), *Акута* (44 тыс. т), *Арни* (20 тыс. т), *Имурарен* (70 тыс. т), *Афасто* (25 тыс. т) сосредоточены в отложениях серии тагор, сложенной песчаниково-аргиллитовыми пачками, формировавшимися в пределах низменной прибрежной равнины и в краевой части морского бассейна, а также обширными песчаными линзами, представляющими собой отложения крупных дельт; в последних отмечается обилие углефицированных растительных остатков.

Рудные тела располагаются непосредственно выше поверхности размыва и представляют собой линзы, имеющие четковидное и кулисообразное строение. Содержание U_3O_8 0,23–0,28%. В рудах определены урановая смолка, парауриновая смолка, черни и коффинит; из сопутствующих минералов упоминаются пирит, мельниковит, марказит, ильземанит, молибденит, галенит, сфалерит.

Общие запасы урана верхнепалеозойских и мезозойских месторождений Нигера оцениваются в 500 тыс. т, в том числе доказанные составляют 162 тыс. т при среднем его содержании в рудах 0,2–0,3%. Разрабатываются месторождения Арли (1,7 тыс. т U в год) и Акута (1,6 тыс. т). Предусматривается ввести в разработку месторождения Имурарен (с годовой производительностью 2,5 тыс. т U), Арни (1 тыс.) и Азелик (1,5 тыс. т).

В Мали на прилегающих к Нигеру территориях выявлен ряд месторождений, сходных с нигерскими; ресурсы урана района Ифарас оцениваются в 85 тыс. т.

В центральной Австралии известны осадочные месторождения урана в карбонатных песчаниках, которые были подвергнуты складкообразованию и слабо метаморфизованы; в базальных песчаниках того же возраста обнаружена уран-флюорит-молибденовая минерализация (месторождение *Маорин*).

Многочисленные месторождения урана, пространственно и генетически связанные с герцинскими гранитами, известны в Западной Европе, где урановая минерализация проявляется: а) в зональных олово-медных жилах, залегающих главным образом в гранитах и в приконтактных ореолах; б) в мезотермальных жилах, несущих никель, кобальт, висмут, серебро и расположенных в основном в приконтактных зонах гранитов; в) в эпитермальных жилах, содержащих пирит и в меньшем количестве галенит, халькопирит, сфалерит, ковеллин; г) в виде рассеянной вкрапленности в осадочных отложениях вблизи гранитных плутонов.

Наиболее интересные месторождения урана, генетически связанные с герцинским магматизмом, известны во Франции, которая занимает ведущее место среди капиталистических стран Западной Европы по запасам (38 тыс. т) и добыче (2,6 тыс. т) урана. Разрабатывается ряд месторождений, расположенных в районах Лимузен, Форез и Вандея. Рудные тела представлены жилами и линзами, приуроченными к зонам тектонических нарушений вблизи массивов герцинских гранитов, и сложены халцедоновидным и дымчатым кварцем, флюоритом

и сульфидами, среди которых преобладают пирит, сфалерит, галенит и халькопирит. Содержание урана в рудах колеблется от 0,05 до 0,2 %.

В районе Лодев департамента Эро оруденение урано-битуминозного типа приурочено к пермским палеорусловым и лагунным отложениям, в которых отдельные горизонты с растительными остатками и твердыми битумами обогащены ураном, представленным карбураном, уранинитом и коффинитом. Суммарные запасы урана оцениваются в 20 тыс. т при содержании его в рудах отдельных месторождений от 2 до 3,3%.

В Вогезах выявлены значительные ресурсы урана, заключенные в черных сланцах вестфальского яруса, в которых уран развит в ассоциации с органическим веществом в форме „карбурана". В богатых слоях уран сопровождается арсенопиритом, галенитом и сфалеритом, в бедных – сидеритом и халькопиритом. Широко распространен пирит, выпоняющий наиболее поздние трещины. Площадь отдельных продуктивных участков составляет 200–250 тыс. м^2 при мощности от 1 до 40 м и содержании урана от 002 до 0,1%.

Сходные урансодержащие сланцы пермо-карбонового возраста известны также в Италии.

Многочисленные месторождения урана известны в разных районах Пиренейского полуострова, особенно на территории Португалии, где разработка их началась еще в 1911 г. Почти все они относятся к гидротермальному типу и представлены преимущественно трещинными жилами и реже тектоническими зонами минерализации в верхнепалеозойских гранитоидах.

Рудные жилы обычно брекчиевидной или полосчатой текстуры сложены кварцем, а в верхних горизонтах также халцедоном и джаспероидами. Кроме настурана, преобразованного в зоне окисления в торбернит и отенит, руды содержат в незначительном количестве пирит, халькопирит, галенит, сфалерит и теннантит.

Мощность жил колеблется от нескольких сантиметров до 2 м, при длине по простиранию от десятков метров до нескольких километров. Содержание урана в рудах также колеблется в широких пределах. В отдельных обогащенных рудных столбах среднее содержание U_3O_8 достигает 0,5%.

Интересные в практическом отношении месторождения урана расположены в районах развития вольфрамо-оловянной минерализации, которая, вероятно, предшествовала урановому оруденению. Весьма характерна частая пространственная ассоциация рудных жил и дайками долеритов и долеритовых базальтов плиоценового возраста, в которых иногда наблюдаются отдельные мелкие скопления и прожилки урановых минералов. В связи с этим наряду с наиболее распространенным мнением о позднепалеозойском возрасте уранового оруденения существует точка зрения о кайнозойском возрасте или о двух разновозрастных этапах минерализации.

Сходные месторождения урана известны в Испании. Достоверные запасы урана Португалии составляют 7 тыс. т, Испании –

10 тыс. т, при среднем содержании его в руде соответственно 0,1–0,2 и 0,1%.

В Великобритании в небольшом объеме уран добывается из рудных отвалов старых выработок на оловянных месторождениях Корнуэлла, где содержание U_3O_8 колеблется от 0,05 до 0,1%. Кроме того, уран установлен в отдельных прослоях каменных углей Йоркширского бассейна (вестфальский ярус карбона).

Мелкие месторождения и проявления урана позднепалеозойского возраста известны в ряде других стран Западной Европы, но существенного значения в запасах и добыче они не имеют. Абсолютный возраст герцинских гранитов, с которыми связана урановая минерализация в странах Западной Европы, колеблется в пределах 280–310 млн. лет. В отдельных случаях возраст урановосных жил, пространственно тяготеющих к этим гранитам, оказывается значительно моложе их (157–171 млн. лет), что, по мнению Давидсона, обусловлено позднейшей гидротермальной переработкой жил и переотложением омоложенного уранинита.

ЖЕЛЕЗО

Месторождения железных руд позднепалеозойского возраста в зарубежных странах имеют ограниченное практическое значение. Многочисленные, но сравнительно небольшие месторождения железных руд, приуроченных к отложениям девона, известны в Западной Европе – на территории Австрии, Бельгии и Франции. Более крупные верхнепалеозойские месторождения известны в Алжире и Ливии.

Издавна разрабатываются сидеритовые месторождения Австрии, расположенные в Восточных Альпах, в районе развития девонских и силурийских пород, представленных граувакками, известняками, филлитами, кварцитами и песчаниками. Рудная залежь самого крупного месторождения этой группы *Эрцберг* мощностью 160–200 м приурочена к граувакковым породам. Первичные руды, кроме сидерита, содержат в подчиненном количестве анкерит, магнетит, кальцит, кварц; в виде примеси в них встречаются пирит, халькопирит, галенит, киноварь. Средний химический состав сидеритовых руд: Fe 30%, Mn около 2%, S и P не более 0,3%. В верхней части месторождения сидеритовые руды окислены и превращены в бурые железняки. Уровень годовой добычи в последнее время составил около 3 млн. т товарной руды. Общие запасы руд оцениваются в 320 млн. т, а доказанные – в 104 млн. т.

Вероятно, к позднепалеозойскому возрасту относятся жильные месторождения сидерита, расположенные в районе Зигерланд в ФРГ. Жилы залегают среди песчано-сланцевых отложений нижнего девона. Длина их по простиранию колеблется от нескольких метров до 600 м, мощность – от 1 до 30 м, и на глубину они прослеживаются на 1200 м. Для всех сидеритовых месторождений этого района характерно высокое содержание марганца: в среднем 5,5–7%.

Более молодыми являются железные руды Лан-Дильского района. *Осадочные железные руды, представленные* гематитом и лимонитом, залегают здесь между среднедевонскими или верхнедевонскими шальштейном и верхнедевонскими туфами, туффитами, известняками и сланцами. Мощность рудных пластов колеблется от 0,5 до 16 м, составляя в среднем 2 м. Содержание железа в гематитовых рудах изменяется от 23 до 45%, в лимонитовых рудах – от 39 до 46%. Все разновидности руд характеризуются повышенным содержанием кремнезема, равным в среднем 12–20%. Руды месторождения *Гисен*, приуроченные к девонским рифовым известнякам, отличаются высоким содержанием марганца, достигающим 14% при содержании железа 22%.

В Бельгии разрабатываются мелкие месторождения осадочных гидрогетитовых (районы Намюра, Льежа, Кампина) и лимонитовых (Кутюин) руд, суммарные разведанные запасы которых составляют 30 млн. т. Содержание железа в них колеблется от 25 до 45%. Годовая добыча немного превышает 100 тыс. т.

Верхнепалеозойские месторождения железных руд Франции (*Эрмитаж, Диелетта* в Нормандии) не разрабатываются, и запасы их не определены.

Железорудные месторождения Великобритании связаны с каменноугольными угленосными отложениями паралических бассейнов Англии – Уэльса, Ирландии, Шотландии, Ноттингемшира, Дербишира и др. Железные руды образуют среди серых и черных глинистых пород угленосной свиты линзовидные тела, состоящие из конкреций неправильной формы. Месторождения относятся к осадочным континентально-прибрежным образованиям, переходным к морским.

Потенциальные запасы сидеритовых руд Великобритании оцениваются в 4,6 млрд. т (при содержании железа в среднем около 35%), в том числе запасы *Мон-Моутшира* – в 2 млрд. т (с содержанием 34–35% Fe) и *Северного Стаффордшира* – в 1,3 млрд. т (с содержанием 38–39% Fe). Несколько выше (44–45%) содержание железа в гематитовых малофосфористых рудах небольших месторождений западного берега страны (*Камберленд, Фернес*) с общими запасами 20 млн. т.

К девонским отложениям приурочены осадочные и осадочно-метаморфизованные месторождения *сидерит-гематитовых руд Испании*, расположенные преимущественно в Астурии. (Часть этих месторождений, вероятно, относится к более древнему возрасту – силурийскому и кембрийскому). Общие запасы их оцениваются в 750 млн. т, доказанные – 250 млн. т.

Небольшие месторождения железных руд позднепалеозойского возраста известны в ряде стран Азии. Наиболее крупное из них – месторождение оолитовых руд *Чамбаг-Феризли* в Турции. Руды содержат от 23 до 37 % железа и около 14% кремнезема. Общие запасы их оцениваются в 50 млн. т.

Крупное месторождение железных руд *Гара-Джебилет*, приуро-

ченное к отложениям среднего девона, открыто в 1952 г. в Африке, на территории А л ж и р а. *Руды распространены на площади около* 300 км^2 и залегают вблизи поверхности. Мощность разведанных рудных тел месторождения колеблется в среднем от 10 до 20 м. Руды представлены в основном гематитом и магнетитом, среднее содержание в них железа колеблется от 30 до 57,7%. Благоприятные условия залегания руды (мощность вскрышных пород не превышает 14 м) позволяют разрабатывать месторождение открытым способом. Общие запасы богатых руд со средним содержанием железа 55% оцениваются в 1350 млн. т (доказанные – 500 млн. т).

Крупное месторождение железных руд разведано в последние годы в Л и в и и. Оно сложено пологозалегающими пластами и линзами оолитовых железных руд, приуроченных к каменноугольным песчано-сланцевым отложениям. Мощность пластов колеблется от 2 до 11 м, в среднем 5 м. Ресурсы руд, содержащих 25–30% железа, оцениваются в 3072 млн. т, из них подсчитанных общих запасов 1755 млн. т (доказанные – 720 млн. т) со средним содержанием железа 45–50%.

Значительными разведанными запасами железных руд позднепалеозойского возраста располагает С С С Р. Бóльшая часть месторождений представлена контактово-метасоматическими сплошными и вкрапленными магнетитовыми рудами и генетически связана с позднекаледонскими и ранневарисскими гранитоидами. Благодаря высокому качеству массивных руд и легкой обогатимости вкрапленных эти месторождения являются одним из важных источников обеспечения промышленности железными рудами. Удельный вес магнетитовых руд контактово-метасоматических месторождений в общесоюзных разведанных запасах составляет 10,6%, а в добыче превышает 27%.

На Урале к ним относятся месторождения Тагило-Кушвинской (*Высокогорское, Гороблагодатское* и др.). Покровской и Богословской групп, приуроченные к гранодиоритам и сиенитам среднего девона, а также *Магнитогорское* месторождение, генетически связанное с герцинской (?) интрузией гранитов, которая отличается повышенной щелочностью и основностью.

Образование многих месторождений Кузнецкого Алатау (*Тейская группа*), Западного Саяна (*Абаканское*) и Горного Алтая (*Инское, Белорецкое*) связывается с нижнедевонскими интрузиями гранодиоритов и сиенитов. Рудные залежи, имеющие линзовидную форму (часто очень усложненную) и крутое падение, прослеживаются по простиранию на 800–1200 м и по падению на 500–1000 м при мощности до 65–180 м. Руды в основном магнетитовые массивные, реже полосчатые и брекчиевидные, обычно плотного и мелкозернистого сложения. Содержание железа в них колеблется от 34,6 до 46,8%. В ряде месторождений руды отличаются высоким содержанием серы, достигающим 2,4–2,9%.

В Казахстане с позднекаледонскими гранитными инструзиями в Степнякской складчатой зоне связано небольшое контактовометасоматическое месторождение *Атансор*, а в Баянаульской складчатой зоне – *Кень-Тюбе-Тогайская группа* месторождений.

Крупные магнетитовые контактово-метасоматические месторождения известны в Кустанайском рудном районе, в пределах Главной рудоносной полосы Тургайского прогиба, протяженность которой составляет около 500 км. Наиболее крупными являются *Качарское, Сарбайское* и *Соколовское* месторождения. Здесь же располагается еще ряд одновозрастных контактово-метасоматических месторождений – *Куржункульское, Козыревское, Ломоносовское, Адаевское.* Продолжение этой железорудной полосы установлено в Курганской области.

Магнетитовые месторождения Главной рудоносной полосы приурочены к зонам контакта вулканогенно-осадочных пород нижнего карбона – порфиритов альбитофиров и туфов туфопесчаников и известняков – с интрузиями диоритового, гранодиоритового и сиенитового состава предположительно позднекаменноугольного возраста (рис. 54). Рудные тела месторождений залегают в толще эффузивно-осадочных пород, иногда у контакта с интрузиями (Качарское, Соколовское, Сарбайское), а иногда на значительном удалении от него (Козыревское) или в зоне эндоконтакта интрузивного массива (Куржункульское). Залежи имеют пластообразную форму, и наиболее крупные из них прослеживаются по простиранию на 1000–3800 м и по падению более чем на 1200 м. Мощности рудных тел колеблются от 100 до 180 м на Сарбайском месторождении, от 160 до 200 м на Качарском и от 50 до 270 м на Соколовском.

Характерно для разведанных месторождений переслаивание сплошных (массивных) магнетитовых руд, оруденелых скарнов (вкрапленных руд) и роговиков. Сплошные магнетитовые руды составляют около половины общих запасов Качарского и Соколовского месторождений. Они содержат в среднем Fe 52,6–58% и P 0,07–0,28%. Во вкрапленных рудах содержание Fe колеблется от 38 до 41% и P от 0,13 до 0,17%.

В лежачем боку рудных залежей Сарбайского месторождения широкое развитие получили колчеданные руды (среднее содержание Fe 35%, S 19%), в которых пирит и пирротин образуют прожилки и вкрапленность. Повышенное содержание цинка, мышьяка и кобальта в рудах месторождения также связано с проявлением сульфидной минерализации.

Качарское, Соколовское и Сарбайское месторождения относятся к скаполитовому подтипу контактово-метасоматических месторождений, которые по времени образования в основном являются доскарновыми; высокотемпературные растворы перемещались по системам дорудных трещин, и отложение железа происходило в условиях преобладающего инфильтрационного метасоматоза. На Соколовском и Сарбайском месторождениях наблюдается сочетание высокотемпературных скаполитовых зон и скарновых (пироксен-гранатовых), а на Сарбайском месторождении, кроме того, развиты среднетемпературные водные силикаты (эпидот, актинолит).

Скаполитовый подтип Качарского месторождения выражен наиболее отчетливо, и Г. А. Соколов связывает это с большей концентра-

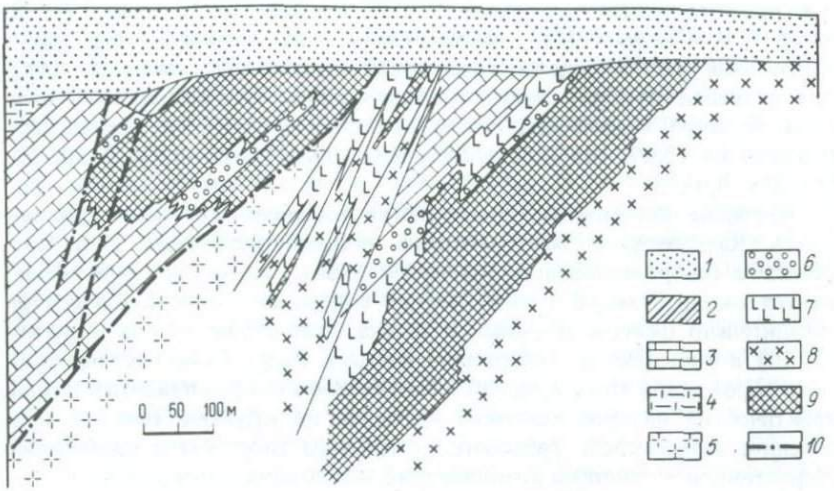


Рис. 54. Геолого-литологический профиль Сарбайского месторождения.

1 – мезо-кайнозойские отложения; *2* – глины древней коры выветривания палеозойских пород (элювий); *3* – известняки; *4* – туфобрекчии альбитофиров; *5* – сиениты и сиенит-порфиры; *6* – гранатовые и пироксеновые скарны; *7* – *роговики плотного (афанитового) сложения*; *8* – *диорит-порфиры* сканированные; *9* – рудные залежи; *10* – зоны дизъюнктивных дислокаций

цией хлора в растворе. По его мнению, месторождения формировались в условиях ассимиляции гранитоидной магмой осадочных пород, содержащих галогенные формации, и происшедшее в связи с этим обогащение магмы хлоридами обусловило „необычайную интенсификацию отделения от нее богатых железом растворов".

Значительный интерес для промышленного использования представляют осадочно-метаморфизованные гематитовые месторождения *Атасуйской* группы в Центральном Казахстане, приуроченные к красноцветным глинистым и кремнисто-карбонатным отложениям нижнего карбона. Рудные тела их имеют пластообразную форму и, как правило, повторяют общую складчатую форму вмещающих пород. Длина рудных тел по простиранию достигает 5 км; по падению они прослеживаются на 500–700 м при средней мощности 25–30 м. Рудные залежи состоят из богатых железных (главным образом гематитовых) и окисных марганцевых руд, а также из бедных железно-марганцевых руд (железа 43,5%, марганца 0,6–0,8%).

В рудной залежи месторождения *Западный Караджал*, представленной в основном гематитом, отчасти магнетитом и прослоями оруденелых роговиков и яшм, в значительных количествах присутствует пирит, и содержание серы достигает 1,5–2%. Приповерхностная часть (2–3 м) руд этого месторождения загипсована (содержание серы до 14%), ниже, до глубины 90–100 м, располагается зона окисленных

руд, представленных мартитами (Fe 59,5%, Mn 0,29%, SiO_2 12%, S 0,16%, P 0,04%, As 0,04%). Магнетитовые руды залегают в верхней и центральной частях залежи (под зоной окисления), сменяясь ниже гематитовыми рудами; зону перехода слагают гематит-магнетитовые руды. Средний химический состав железных руд месторождения следующий: Fe 55,6%, Mn 0,46–0,88%, SiO_2 0,89%, S 0,6–0,7%, P 0,03 %, As 0,018–0,033%.

Крупным источником производства товарных железных руд является Качканарское месторождение титаномагнетитовых руд, связанных с габбро-дунитовой формацией Урана. Запасы его руд оцениваются около 5 млрд. т, при среднем содержании железа около 17%, сравнительно низком содержании титана (отношение железа к титану 1 : 10) и повышенном содержании ванадия. Руды легко обогащаются, и месторождения этого типа в перспективе смогут представлять большой практический интерес, особенно учитывая их крупный масштаб оруденения, возможность разработки открытым способом и применения эффективной технологии комплексного использования их руд.

С комплексом щелочных и ультраосновных интрузий Балтийского щита и ассоциирующими с ними карбонатитами связаны апатит-магнетитовые (*Ковдорское* месторождение) и перовскито-магнетитовые руды (*Африкандское*).

МАРГАНЕЦ

Месторождения марганца позднепалеозойского возраста имеют сравнительно небольшое практическое значение и занимают ничтожный удельный вес в мировых запасах и добыче этого металла. Они известны в Западной Европе, Северной Африке, Юго-Восточной Азии и Советском Союзе. Месторождения характеризуются мелкими масштабами и сравнительно низким качеством руд. Все они осадочного или осадочно-вулканогенного происхождения и представляют собой типичные геосинклинальные образования.

Наиболее крупными, по-видимому, являются месторождения СССР, расположенные в Центральном Казахстане и представленные стратифицированными залежами железных и марганцевых руд в морской кремнисто-карбонатной толще фамена. Железо-марганцевое оруденение этого района совмещено с барит-свинцово-цинковым оруденением, которое приурочено к тому же осадочному комплексу. По масштабу оруденения выделяется месторождение *Ушкатын* III, приуроченное к толще вулканогенно-осадочных пород, представленных алевролитами, песчаниками и известняками верхнефаменского подъяруса. Они слагают синклинальную складку меридионального направления, в западном крыле которой преимущественно развиты пластовые тела марганцевых и железных руд, залегающие согласно с вмещающими породами и круто падающие к востоку. Всего выявлено 14 марганцеворудных и 8 железорудных тел. Основные запасы марган-

цевых руд сосредоточены в четырех рудных телах, прослеженных по простиранию до 2,5 км и по падению до 700 м, мощности их достигают 29,7 м. Среднее содержание марганца в разведанных рудах 26,6%. Основными рудными минералами являются гаусманит, браунит и гематит — в первичных окисных рудах и псиломелан, пироморфит и манганит — в зоне окисления. Содержания фосфора низкие, и все руды по этому показателю высококачественны. Повышенные содержания свинца и цинка (до 1,5 и 1,0% соответственно) не служат препятствием для получения ферромарганца, так как и свинец, и цинк при обжиге возгоняются. Богатые разновидности руд могут быть использованы в металлургическом производстве без обогащения.

На *Джездинском* месторождении выделяются две морфологические разновидности руд: а) пластообразные залежи, представленные конгломератами и аркозовыми песчаниками с рудным цементом, и б) линзообразные и жилообразные залежи, приуроченные к зоне разломов и сложенные массивными рудами или брекчиями с преобладанием рудного цемента над обломочным материалом. Первичный минерал — псиломелан, за счет которого позднее образовался браунит. Характерно содержание в рудах значительного количества свинца. Среднее содержание марганца в разведанных рудах месторождения 20,3%.

Мелкие месторождения железо-марганцевых руд позднепалеозойского возраста известны в Египте. Все они расположены на Синайском полуострове и приурочены к доломитовым известнякам карбонового возраста. Наиболее значительно месторождение *Умм Богма*, мощность рудных пластов которого составляет 2–3 м, местами достигает 4 м. Главные марганцевые минералы представлены пиролюзитом и псиломеланом. Среднее содержание марганца в богатых рудах достигает 28–32%, но встречаются руды и с более низким содержанием (22–24%). Для всех руд месторождения характерно повышенное содержание железа (25–29%, иногда до 35%) и сравнительно небольшое количество фосфора, кремнезема и глинозема. Общие запасы марганцевых руд оцениваются в 1 млн. т. Ежегодная добыча в последние годы составляет около 4 тыс. т.

Мелкие осадочные или осадочно-эффузивные месторождения карбонатных и силикатных марганцевых руд, приуроченные к терригенным отложениям карбона, известны на территории ФРГ (Рейнские Сланцевые горы), Испании (провинция Уэльва) и в СССР (Южный Урал). Практического значения эти месторождения не имеют.

ХРОМ

В зарубежных странах проявления хромитоносности позднепалеозойского возраста встречаются редко и обычно в форме мелких скоплений, мало интересных в практическом отношении. Небольшие месторождения хромитов широко распространены в восточной части Австралии, где они связаны с раннегерцинскими гипербазитами.

К верхнему палеозою относится также ряд мелких неэксплуатируемых месторождений хромитов в США. С герцинскими гипербазитами некоторые исследователи связывают и образование месторождений хромитов Турции, расположенных в районе Дагарды в Западной Анатолии. Эти месторождения в прошлом играли видную роль в добыче хромитов, но в настоящее время почти нацело выработаны.

В СССР верхнепалеозойские месторождения хромитов составляют основу сырьевой базы и играют решающую роль в запасах и добыче этого полезного ископаемого. К ним, например, относятся все промышленные месторождения хромитов Урала, приуроченные к габбро-перидотитам, которые большинство исследователей считают герцинскими.

Особый интерес представляют многочисленные месторождения хромитов, связанных с *Кемпирсайским* ультраосновным массивом. Он сложен преимущественно перидотитами типа гарцбургитов, которые наиболее широко развиты в его северной, центральной и западной частях. Меньше распространены дуниты, встречающиеся главным образом в южной части массива и вдоль восточной его окраины.

По геологическим данным и определению абсолютного возраста флогопита из контактово-минерализованных пород время внедрения интрузива определяется как позднекаледонское и составляет 404–380 млн. лет.

Кемпирсайский массив характеризуется весьма сложной тектоникой. Помимо крупных размеров, здесь наблюдается густая сеть более мелких дислокационных трещин, подчиненных четырем главным направлениям: широтному, соответствующему трещинам растяжения, меридиональных, отвечающему трещинам сжатия, северо-западному и северо-восточному, фиксирующим диагональные склоны. Значительные участки массива покрыты доюрской корой латеритного выветривания мощностью от 15 до 30 м.

Хромитовые руды приурочены к участкам развития дунитовых серпентинитов, среди которых они залегают в форме конкордантных пластообразных или жилообразных залежей, разбитых тектоническими нарушениями на серию смещенных относительно друг друга блоков. Обычно они залегают на глубинах от 25 до 500 м, но местами обнажаются на дневной поверхности. Контакты рудных тел с вмещающими породами наблюдаются как резкие, так и постепенные, особенно в лежачем боку рудных залежей (рис. 55).

Основные рудные минералы кемпирсайских месторождений – хромшпинелиды, среди которых преобладает магнохромит, меньше развиты хромдиопсид, уваровит, хромактинолит и магнетит, встречаются гематит и сульфиды. В переменных количествах постоянно присутствует серпентин (заместивший оливин), с которым хромшпинелид образует тесные срастания. Взаимоотношение этих двух минералов свидетельствует о почти одновременной кристаллизации оливина и хромшпинелида из магматического расплава. Из вторичных минералов в рудах наблюдаются гидросиликаты никеля, карбонаты, тальк, хлорит, опал, халцедон и железные охры.

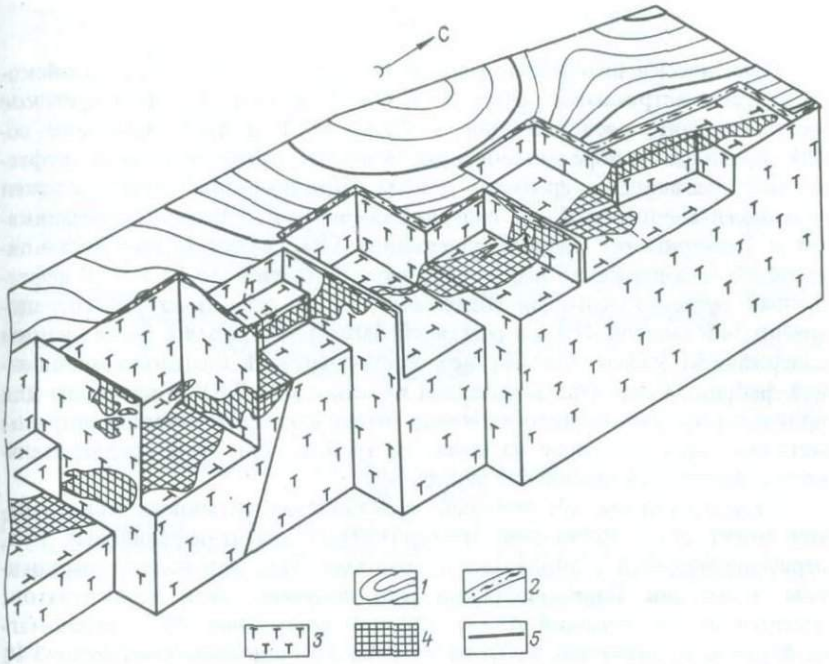


Рис. 55. Блок-диаграмма рудных залежей месторождения им. XX лет КазССР *(по М. Ф. Шульгину)* :

1 – дневная поверхность; *2* – мезо-кайнозойские отложения; *3* – перидотиты; *4* – хромитовые руды; *5* – тектонические нарушения

Руды представлены двумя основными разновидностями: вкрапленными и сплошными. Процессами выветривания руды верхних горизонтов местами превращены в высокосортные рыхлые и порошковатые разности. Более ограниченно в верхних горизонтах распространены силицифицированные (окаменелые) руды, в которых первичные силикаты замещены кремнеземом и отчасти железными охрами. Сплошные руды содержат SiO_2 от 2 до 10%, вкрапленные – от 10 до 15% (иногда и более). Содержание Al_2O_3 в рудах колеблется от 2 до 12%, MgO от 9 до 24%, CaO – от „следов" до 5%, P – от „следов" до 0,5%. В незначительных количествах в рудах присутствуют Ti, V, Co, Ni, Mn, S.

Значительные участки массива гипербазитов перекрыты горизонтально залегающими верхнемеловыми и третичными отложениями.

Разрабатываемые месторождения Урала характеризуются менее высоким качеством руд, которые используются для производства огнеупоров.

ТИТАН

Практически интересные месторождения титана позднепалеозойского возраста встречаются редко. В СССР к ним относятся *Ярегское* месторождение, расположенное в Коми АССР и представляющее собой древнюю прибрежно-морскую россыпь, приуроченную к нефтеносным песчаникам среднего девона. Продуктивный пласт сложен лейкоксен-кварцевыми и сидерит-лейкоксен-кварцевыми песчаниками и гравелитами. Среднее содержание TiO_2 в лейкоксене составляет 64,3%, а содержание нефти варьирует от следов до 14,45%. В нефтеносных рудах, в которых содержание нефти превышает 5%, сосредоточено 34% запасов TiO_2, а остальные запасы – в рудах с более низким содержанием нефти или без нее. Полученные на опытно-промышленной фабрике концентраты содержат не менее 42% TiO_2 и пригодны для производства пигментного диоксида титана высокого качества хлорным методом, минуя плавку на шлак, но требуют при этом предварительного удаления кремнезема из лейкоксена.

Существенными источниками производства титановых концентратов могут стать Хибинские месторождения апатит-нефелиновых руд, переслаивающихся с ийолитами и уртитами. Так, при полупромышленном испытании Партомчоррских руд получено пять концентратов: апатитовый, содержащий Al_2O_3 30% при извлечении 70%; титаномагнетитовый, содержащий TiO_2 16,3% и Fe 58% при выходе от руды 3%; эгириновый, содержащий TiO_2 5,8% и Fe 13,7% при выходе от руды 12,4%; сфеновый, содержащий TiO_2 36% при извлечении 36%. Суммарное извлечение TiO_2 в три последних концентрата составляет 69,5%.

АЛЮМИНИЙ (БОКСИТЫ)

Сравнительно крупные ресурсы бокситов сосредоточены в верхнепалеозойских отложениях. В девоне образовались месторождения геосинклинального типа Урала и Салаира, а в карбоне – бокситы Русской, Китайской и Северо-Американской платформ. Преобладают бокситы морского происхождения, которые, вероятно, произошли за счет перемыва и переотложения продуктов коры выветривания. В СССР наиболее крупные месторождения залегают среди известняков, в КНР и США они часто приурочены к угленосным отложениям и ассоциируют с плотными маложелезистыми каолинитовыми породами типа флинтклей. В большинстве случаев палеозойские бокситы имеют пластообразную форму и приурочены к платформенным котловинам. Состав их весьма пестрый. Разрабатываются преимущественно бокситы, в которых содержание глинозема превышает 50%.

Бокситы *Северного Урала* приурочены к контакту жединских (D_1) и эйфельских (D_2) известняков и образуют так называемый субровский горизонт. Они залегают на неровной сильно закарстованной поверхности известняков (рис. 56), на границе с которыми часто

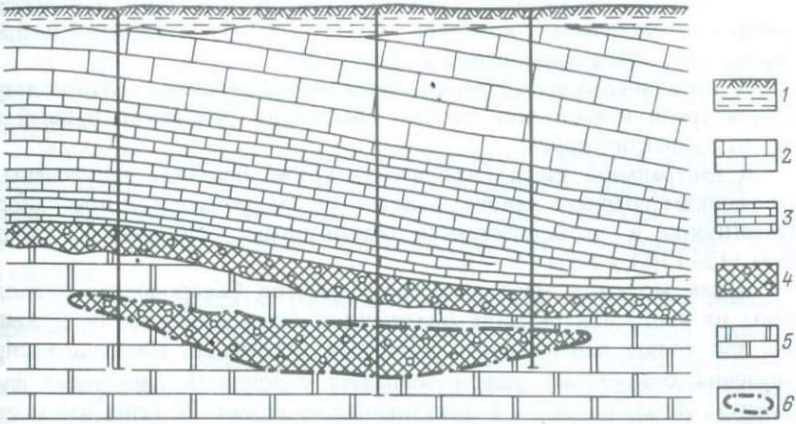


Рис. 56. Геологический профиль месторождения Красная Шапочка *(по И. И. Плотникову и др.)*:

1 – почвенный слой; *2* – светло-серые рифогенные известняки D_2; *3* – темно-серые амфипоровые известняки с редкими пропластками известково-глинистых сланцев D_2; *4* – рудная залежь D_2; *5* – светло-серые рифогенные известняки D_1; *6* – контур карстовой полости, выполненной бокситом

развита известняково-бокситовая брекчия мощностью около 0,5 м (иногда значительно больше); вышележащими известняками бокситы перекрываются согласно. Первоначально непрерывный пласт бокситов, распространяющийся на значительной площади, осложнен серией дизъюнктивных нарушений – сбросами и взбросами с амплитудой смещения от нескольких метров до 400–500 м.

Продуктивные залежи бокситов имеют сложное строение. Обычно верхняя часть пластовых залежей состоит из пестроцветных бокситов, обогащенных серой и углекислотой. Средняя, основная промышленная часть пласта, заключающая до 90% всех запасов, слагается красными бокситами. Нижняя часть пласта представлена бокситовой брекчией. Выделяются два литологически и генетически различных подгоризонта: нижний, представленный преимущественно континентальными красными бокситами, и верхний, в составе которого преобладают серые и зеленовато-серые бокситы морского происхождения. Изредка между этими подгоризонтами встречаются линзы серых озерно-болотных бокситов. Красные бокситы накапливались в понижениях поверхности закартованных известняков, куда сносился материал, вероятно, в виде суспензий, с расположенных вблизи массивов основных алюмосиликатных пород, покрытых латеритной корой выветривания. Морские бокситы в значительной мере представляют собой продукты переотложения и хлоритизации красных бокситов. По минеральному составу бокситы относятся к диаспоровым разностям. Красные бокситы характеризуются высоким содержанием глинозема и незначительным содержанием кремнезема и серы.

В бокситах Северного Урала содержание основных породообразующих компонентов составляет: Al_2O_3 – 50–55%, SiO_2 –4,0–5,5%, Fe_2O_3 – 10–20% ; кремниевый модуль –10–13.

На западном склоне *Южного Урала* месторождения бокситов встречаются среди известняков девона, слагающих орловский рудный горизонт франского яруса.

В центральной части *Салаирского кряжа* бокситы приурочены к отложениям среднего девона, залегают на закарстованной поверхности известняков и характеризуются повышенным содержанием кремнезема (12–15%) и серы (5–7 %).

Более молодые месторождения бокситов Североонежья расположены на восточной окраине *Балтийского щита* в области погружения его под толщу палеозойских осадочных отложений. Площадь распространения бокситовых пород совпадает с крупной депрессией фундамента, образовавшейся в допалеозойское время. Разведанные месторождения расположены близ подножья горного уступа Ветреного пояса, сложенного основными породами. Продуктивные отложения относятся к нижней части окской свиты визейского яруса нижнего карбона и состоят из двух толщ: нижней – каолинит-бокситовой мощностью 5–10 м и верхней – железо-бобовой мощностью 10–20 м. Нижняя толща залегает трансгрессивно на девонских и кембрийских отложениях и преимущественно развита в плоских понижениях докарбонового рельефа. На выступах кристаллического фундамента продуктивные отложения полностью выклиниваются. Залежи кондиционных бокситов имеют пластообразную форму.

Минеральный состав и содержание в бокситах основных химических элементов широко варьирует: они характеризуются как высококремнистые, мало- или среднежелезистые и малокальциевые. Отличительной их особенностью является повышенное содержание хрома, никеля, цинка, ванадия и галлия. В бокситах Тарасовской залежи содержание Al_2O_3 составляет 53%, SiO_2 – 17%, CaO – 0,5 %. Содержание TiO_2 варьирует от 0,3 до 4,0%; кремниевый модуль – 2,5–3,5%.

К низам песчано-глинистой угленосной толщи нижнего карбона относятся месторождения бокситов *Тихвинского района*. Это месторождения платформенного типа, приурочены они к древним овражно-балочным долинам, выработанным на поверхности верхнедевонских отложений, и этим в известной мере определяются морфология и состав бокситов, представленных небольшими линзообразными вытянутыми залежами бемит-каолинит-гиббситового состава. Содержание в бокситах Al_2O_3 составляет 50–55%, SiO_2 – 15–18%, Fe_2O_3 – 4–10%; кремниевый модуль – 2,5–3,5.

Примерно к этому возрасту относятся также бокситы КМА (рис. 57), приуроченные к коре выветривания, погребенной под осадочным чехлом мощностью до 800 м. Формирование коры выветривания происходило в раннекаменноугольное время. Выделяют два типа руд:

– латеритный (остаточный, элювиальный), представленный плащеобразными залежами, приуроченными к верхней части профиля

латеритной коры выветривания крутопадающих протерозойских филлитовых сланцев;

– переотложенный (осадочный), представленный делювиально-пролювиальными и озерно-болотными образованиями, относящимися к низам визейского яруса.

Наиболее мощные залежи латеритных бокситов расположены вблизи контакта сланцев с богатыми железными рудами. Среди бокситов выделяются бемитовые и гиббситовые разности, содержащие в переменных количествах шамозит, каолинит, гидроксиды железа и сидерит.

Осадочные бокситы располагаются вблизи латеритных бокситов, причем в их склоновых залежах преобладает обломочный материал, в долинных – тонкодисперсный. Они сложены в основном бемитом, шамозитом и каолинитом, встречаются также чешуйки гидрослюды, обломки зерен циркона и турмалина, эпигенетические пирит и сидерит.

В последнее время относительно широкое распространение бокситов установлено на Тимане, где отчетливо выделяются два бокситоносных района – *Южно-* и *Средне-Тиманский.* В Южно-Тиманском районе выявлены значительные запасы бокситов осадочного типа, формирование которых происходило в визейское время. Бокситы представлены каолинит-гиббсит-бемитовыми и каолинит-бемитовыми разностями, в которых содержание Al_2O_3 составляет 45–52 %, SiO_2 – 4,8%, Fe_2O_3 – 20–30%; кремниевый модуль – 7–12. Обычно они отличаются высоким содержанием серы. Латеритные бокситы Среднего Тимана образовались в раннефранское время. Бокситоносный горизонт располагается на гидрослюдистых и каолинит-гидрослюдистых продуктах коры выветривания глинистых доломитов, известняков, аргиллитов и алевролитов. Бокситы относятся к гетит-шамозит-бемитовым и реже к каолинит-бемитовым разностям. По данным Г. Р. Кирпаля, содержание Al_2O_3 в бокситах колеблется от 38,3 до 59,6%, SiO_2 – от 2,5 до 17,3%, Fe_2O_3 – от 12,0 до 38,6%; кремниевый модуль – от 3,9 до 5,4.

Бокситы с кремниевым модулем 2,1–2,6 могут использоваться в металлургической промышленности, с модулем 2,6–4,7 – для получения глинозема способом спекания, а бокситы с бортовым модулем более 4,7 (при среднем 6,7–7,0) можно перерабатывать на глинозем методом Байера. Последние составляют более 60% общих запасов бокситов.

Месторождения бокситов каменноугольного и пермского возраста широко распространены в К Н Р. Все они приурочены к окраинным частям угленосных бассейнов и залегают на карбонатных отложениях в основании угленосных толщ или образуют ряд горизонтов в основаниях отдельных циклов угленакопления. Образование бокситов связано с размывом латеритной коры выветривания и последующим переотложением глиноземных продуктов в платформенных котловинах. Отдельные пластообразные или линзообразные залежи бокси-

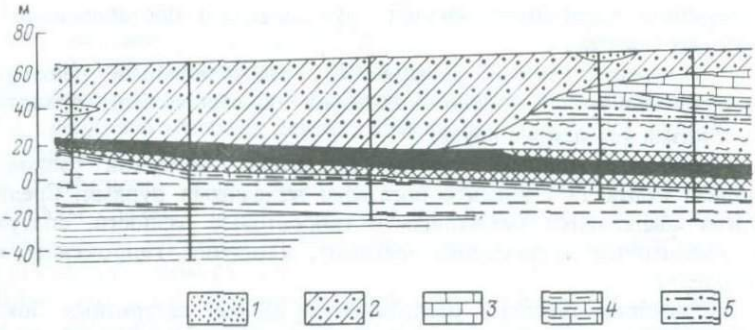


Рис. 57. Разрез Иксинского месторож

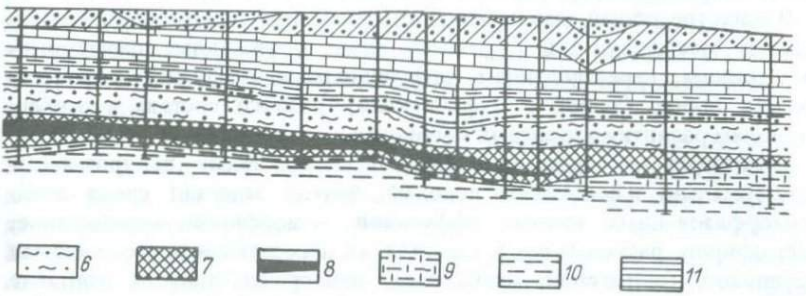
1–2 – четвертичные образования: *1* – пески, *2* – валунные суглинки; *3* – извест образования бокситоносной толщи визейского возраста: *5* – глины песчаные горизонт), *7* – бокситовые породы, аллиты (бокситовый горизонт), *8* – бокситы *10* – глина алевритовая франского возраста;

тов, сложенные в основном бемитом, каолинитом и гидраргиллитом, прослеживаются по простиранию на 1500–3500 м. Обычно бокситы отличаются высоким содержанием глинозема, которое в среднем составляет 50%.

В северной части В ь е т н а м а бокситоносны верхнепермские отложения, представленные переслаивающимися глинистыми, иногда углистыми сланцами, алевролитами, известняками и мергелями. Продуктивный горизонт изменчивой мощности залегает на неровной поверхности массивных известняков карбона и наряду с высокоглиноземистыми бокситами (пелитоморфными или оолитовыми) включает аллиты, сиаллиты и глинистые породы.

Высококачественные бокситы образуют линзовидные тела протяженностью от 100 до 1000 м. Содержание Al_2O_3 в бокситах колеблется от 40 до 60%, а SiO_2 от 2,5 до 20%. Спектральным анализом в бокситах установлено присутствие в небольших количествах галлия, ванадия, хрома, никеля, кобальта. Бокситы являются древними карстовыми метаморфизованными образованиями (типа СУБРа). Они характеризуются незначительными масштабами и сложными условиями залегания.

Сравнительно небольшие месторождения бокситов каменноугольного возраста, приуроченные к угленосным отложениям, известны в С Ш А. Залежи бокситов пластообразной формы залегают среди плотных маложелезистых пород типа флинтклей; в этом отношении они весьма сходны с китайскими бокситами, которые также ассоциируют с подобными камневидными каолинитовыми породами, представляющими собой типичные переотложенные продукты коры выветривания.



дения бокситов (*по Э.А. Кальберг*):

няки среднего карбона; *4* – глинистые известняки нижнекаменноугольные; *5–9* – (надрудный горизонт), *6* – глины с железистыми бобовинами (железо-бобовый (бокситовый горизонт), *9* – алевриты, алевролиты, пески (подрудный горизонт); *11* – аргиллиты верхнего рифея (валдайская серия)

МЕДЬ

В позднепалеозойскую эпоху рудообразования промышленная медная минерализация наиболее интенсивно и разнообразно проявилась на территории СССР, где известны почти все основные генетические типы меднорудных месторождений. Разнообразные осадочные и эндогенные месторождения, относящиеся, по-видимому, к верхнему палеозою, сравнительно широко распространены в КНР. Из других стран промышленными верхнепалеозойскими месторождениями меди располагают Испания, Португалия, Ирландия, ГДР и Польша. В первых трех странах они относятся к медколчеданному типу, в двух других представлены медистыми сланцами.

В С С С Р медноколчеданные месторождения особенно широко распространены на Урале, но развиты и в других районах страны, обладают весьма сходными чертами геологического строения и характера оруденения и связаны преимущественно с вулканогенно-осадочными и вулканогенными образованиями раннегеосинклинальной стадии развития подвижных поясов.

Руды месторождений представлены несколькими типами: существенно пиритовым (содержание меди до 0,5–1%); халькопирит-пиритовым (содержанием меди от 1 до 2–3%, цинка менее 1%); халькопирит-сфалерит-пиритовым (содержание меди от 1 до 9–10% и цинка от 1 до 7–8%); халькопирит-сфалерит-галенит-пиритовым (меди от 1 до 20%, цинка от 1 до 7–8%, свинца от 1 до 5–6%); халькопирит-пирротин-пиритовым (меди от 1 до 4–5%).

Медноколчеданные месторождения *Урала* расположены в зеленокаменной полосе восточного склона, где бóльшая их часть приуроче-

на к комплексу кислых и средних эффузивно-пирокластических пород – к так называемой андезито-альбитофировой формации на Среднем Урале и к спилито-кератофировой – на Южном.

В качестве общей закономерности отмечается приуроченность колчеданных месторождений Среднего Урала к участкам, представленным тонким переслаиванием эффузивных и эффузивно-пирокластических пород (туфов и туфобрекчий) разного состава и особенно к полям развития вторичных кварцитов.

Некоторые месторождения Южного Урала также приурочены к гидротермально измененным породам, другие залегают среди слабо метаморфизованных кислых эффузивов – порфиров, кератофиров, альбитофиров, располагаясь в участках их переслаивания с основными эффузивами (спилитами, диабазами), непосредственно на контакте с последними или в нескольких десятках метров от контакта. При контактовое положение рудных залежей, по мнению исследователей, обусловлено тем, что наиболее благоприятными для рудоотложения были участки, сложенные породами разной компетентности, т. е. участки наибольшего развития полостей отслаивания, которые выполнялись рудным раствором.

Ряд колчеданных месторождений Южного Урала приурочен к толще метаморфических пород докембрия.

Рудные залежи колчеданных месторождений Урала имеют форму крутопадающих линз, столбов, жил, залегающих более или менее согласно с вмещающими породами. Размеры их меняются в широких пределах. По простиранию протяженность их колеблется от нескольких десятков метров до нескольких километров, по падению она иногда достигает 800 м, мощность залежей изменяется от нескольких дециметров до 70 м, а иногда и более.

Месторождения представлены сплошными массивами и вкрапленными рудами, которые по содержанию ведущих полезных компонентов подразделяются на медноколчеданные, серноколчеданные, медно-цинковоколчеданные, цинковоколчеданные. Кроме меди, цинка, железа и серы, в рудах обычно присутствуют свинец, золото, серебро, кадмий и другие элементы.

Относительно генезиса колчеданных месторождений Урала существует много различных взглядов. Наиболее распространенной являлась точка зрения, высказанная А. Н. Заварицким в 1927 г. и развитая в более поздних работах, согласно которой колчеданные руды Урала синхронны с вмещающими вулканогенными толщами и, так же как и ассоциирующие с ними вторичные кварциты, генетически и пространственно связаны с кварцевыми альбитофирами, широко распространенными в рудных полях многих месторождений.

В последнее время преобладает мнение, что формирование медноколчеданных руд Урала и других районов происходило гидротермально-осадочным и гидротермально-метасоматическим путем в близповерхностных условиях или на субвулканическом уровне глубин и тесно связано с кислыми дифференциатами продуктивных формаций.

В связи с различной трактовкой условий образования колчеданных месторождений высказываются и различные взгляды на их возраст. Большинство исследователей считают возраст колчеданного оруденения Среднего Урала доэйфельским. В отношении южноуральских месторождений существует мнение, что часть их относится к верхнему силуру, часть – к нижнему девону и отдельные месторождения – к среднему девону.

Возраст околорудных серицитов колчеданных месторождений Урала, определенный калий-аргоновым методом, устанавливается в диапазоне от 265 млн. до 460 млн. лет. Для большей части месторождений абсолютный возраст колеблется от 320 млн. до 370 млн. лет. Возраст серицитов Кабанского и Красногвардейского месторождений находится в пределах 420–460 млн. лет, что соответствует интервалу времени от конца до середины ордовика. Цифра в 265 млн. лет получена в одном случае и, возможно, связана с потерей радиогенного аргона.

В районах горы Карабаш и Сугурских гор установлены проявления колчеданной минерализации в серпентинитах, которые, судя по взаимоотношениям серпентинитов с фаунистически охарактеризованными известняками, относятся к послеэйфельскому возрасту. Последнее подтверждается также произведенным в лаборатории Уральского филиала АН СССР определением абсолютного возраста мусковита (305 млн. лет), отобранного из мусковитизированных хлоритовых пород, которые сопровождают колчеданную минерализацию в серпентинитах. Возможно, что проявление этого оруденения не следует связывать по времени образования с основными промышленными медноколчеданными месторождениями.

Медное оруденение, приуроченное к контакту серпентинитов и диабазов, встречено и в другом районе Урала. Основными рудными минералами в первичных рудах здесь являются пирротин и халькопирит, второстепенными – кобальтин, пентландит, магнетит, хромит, сфалерит, марказит, мельниковит. По минеральному составу преобладают пирротиновые и халькопирит-пирротиновые руды, меньше распространены пирит-пирротин-халькопиритовые.

Месторождения медноколчеданных руд позднепалеозойского возраста разведаны также в *Казахстане.*

Большой практический интерес представляют месторождения меднопорфировых руд в Центральном Казахстане – *Коунрад* (рис. 58) и Узбекистане – *Алмалык* (рис. 59), генетически связанные с позднепалеозойским (пермским) магматизмом. Вмещающие их породы, особенно кислые эффузивы, сильно изменены и превращены во вторичные кварциты, состоящие из кварца и серицита. Обычно рудные залежи приблизительно повторяют контакты штоков гранодиорит-порфира с вмещающими породами, причем основная масса руды расположена в эндоконтакте штоков, значительно меньшая – в экзоконтакте, весьма слабо проявлено оруденение в их центральных частях.

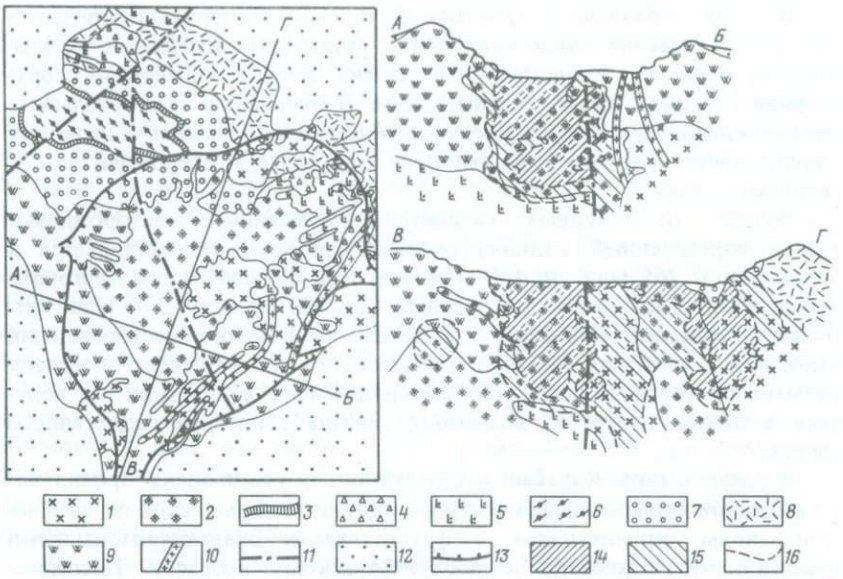


Рис. 58. Схема геологического строения месторождения Коунрад:

1 – гранодиорит-порфиры слабо измененные; *2* – вторичные кварциты по гранодиорит-порфирам; *3* – горизонт игнимбритов; *4–5* – эффузивы основного состава: *4* – диабазы, *5* – лавобрекчии и туфы; *6–9* – вторичные кварциты по кислым эффузивам: *6* – сферолитовым и массивным фельзитам, *7* – альбитофирам и кварцевым порфирам, *8* – туфобрекчиям кварцевых порфиров, *9* – флюидальным фельзитам; *10* – дайки кварцевых диоритов; *11* – разрывные нарушения; *12* – кайнозойские рыхлые отложения; *13* – контур карьера; *14* – богатые и рядовые руды; *15* – убогие руды; *16* – границы сортов руд

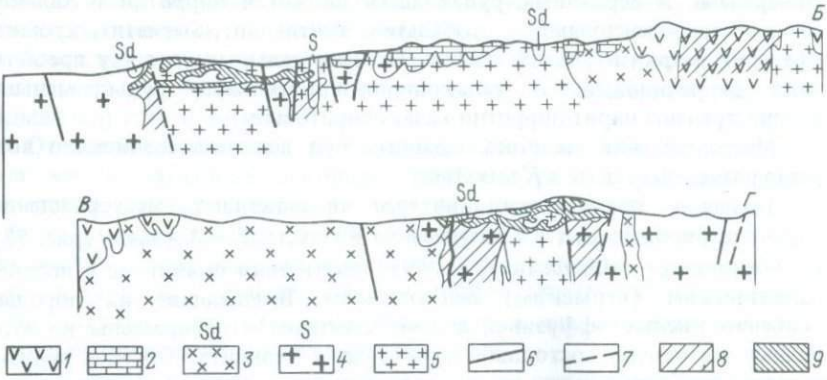


Рис. 59. Геологические разрезы месторождения Алмалык:

1 – кварцевые порфиры; *2* – известняки; *3* – сиенит-диориты; *4* – сиениты; *5* – гранодиорит-порфиры; *6* – разломы доминерализационные; *7* – альпийские сбросовые нарушения; *8* – сульфидные руды; *9* – окисленные руды

В горизонтальном сечении рудные залежи имеют кольцеобразную форму. Глубина нижней границы промышленного оруденения достигает 600 м. Залежи прожилково-вкрапленных медных руд обычно сохраняют структурные особенности пород, из которых они образовались. Часто наблюдается реликтовая порфировая структура в виде выделений кварца и полевого шпата, замещенного серицитом, среди более или менее раскристаллизованной основной массы. Рудные минералы развиты в густой сети мелких кварцевых прожилков, пересекающих вмещающие породы, а также в виде вкрапленности вблизи прожилков.

На месторождениях развиты зоны: окисления с участками выщелоченных руд, вторичного сульфидного обогащения (халькозиновая) и первичных сульфидных руд. Границы зон имеют неправильные очертания. Зона окисления распространяется на глубину 50 м и более, ниже нее иногда четко проявляется зона выщелачивания с пониженным содержанием меди. Нередко в результате окисления древнего горизонта вторичного сульфидного обогащения развивается зона смешанных руд.

Наиболее распространенные минералы окисленных и выщелоченных руд – лимонит, гётит, гематит, малахит и азурит. Встречаются хризоколла и другие силикаты меди (медьсодержащие каолины), брошантит и в незначительных количествах халькозин, халькопирит и куприт. Смешанные руды по минеральному составу отличаются от окисленных резким уменьшением гидроксидов железа и большим количеством халькозина, местами халькопирита и пирита.

Зона вторично обогащенных халькозиновых руд имеет наиболее важное промышленное значение. Мощность ее колеблется от нескольких метров до нескольких сотен метров; наибольшая мощность характерна для пониженных частей рельефа. Обогащенные халькозиновые руды развиваются непосредственно на первичных рудах, реже на смешанных. Преобладающими минералами в зоне вторичного обогащения являются пирит, халькозин, присутствуют халькопирит, куприт, ковеллин, борнит, энаргит, блеклые руды, молибденит, сфалерит, галенит, магнетит, гематит и золото. Ниже халькозиновой зоны залегают первичные сульфидные руды, обычно представленные бедной вкрапленностью пирита, халькопирита, магнетита, гематита и молибденита; кроме того, они содержат золото и серебро.

Меднопорфировые руды легко поддаются обогащению, и извлечение меди в концентрат достигает 96%.

Проявления этого типа минерализации установлены в ряде других районов. В юго-восточной части *Зайсанской* складчатой области, например, они относительно широко проявлены в генетической связи с малыми интрузиями гранодиорит-порфиров поздней фазы саурского комплекса визе-намюрского возраста.

С малыми интрузиями гранитов и гранодиоритов девонского возраста связано месторождение меднопорфировых руд *Ак-Суг* в Туве.

Широко распространены в СССР медистые песчаники; экономическое значение их во многих случаях весьма велико, хотя не все

Рис. 60. Геологический разрез через Джезказганскую мульду в районе Центрального рудного поля:

1 – красноцветная толща перми; *2* – джезказганская свита; *3* – нижний карбон (визе); *4* – рудные залежи

известные месторождения по содержанию меди в рудах представляют практический интерес.

Наиболее хорошо изучены месторождения медистых песчаников Центрального Казахстана, которые приурочены к лагунно-континентальным и морским отложениям карбона, преимущественно к серым кварц-полевошпатовым песчаникам, перекрытым пестроцветными песчано-глинистыми отложениями пермского возраста (рис. 60). Здесь установлено до 15 оруденелых пластов, объединенных в девять стратиграфически выдержанных рудоносных горизонтов. Оруденение приурочено к антиклинальным куполам и синклинальным прогибам и проявляется в виде вкрапленности сульфидов в цементе песчаников, реже в виде заполнения трещин. Залегание рудных тел большей частью пологое: до 10°, но местами они падают круто – до 75°. Глубина залегания колеблется от 0 до 300–500 м. Рудные тела представлены пластовыми, изометричными в плане залежами, размеры которых колеблются в широких предедах.

Рудообразующими минералами в зоне первичных руд являются пирит, халькопирит, борнит, халькозин, галенит, сфалерит и блеклые руды. По минеральному составу среди руд выделяются медные, медно-свинцовые, медно-свинцово-цинковые и свинцово-цинковые разности при подавляющем преобладании медных. Свинцовые и цинковые руды встречаются в виде отдельных разобщенных участков внутри контуров медных руд.

Относительно генезиса медистых песчаников существуют различные, причем резко противоположные точки зрения.

Т. А. Сатпаева выделяла две группы месторождений – осадочные и гидротермальные.

Для осадочных медистых песчаников, по ее мнению, характерны следующие особенности: 1) рудовмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, мергелями, доломитами и известняками; 2) рассеянное убогое оруденение развито на громадных площадях при отсутствии промышленных скоплений меди; 3) основные рудные минералы представлены пиритом, иногда марказитом, при отсутствии или ничтожном развитии халькопирита и борнита.

Медистым песчаникам гидротермального типа, к которым Т. А. Сатпаева относит, в частности, месторождения Центрального Казахстана, свойственны следующие характерные черты:

1) рудовмещающие породы представлены песчаниками, туфопесчаниками, конгломератами, метаморфизованными песчаниками и сланцами;

2) концентрация оруденения связана с резко выраженными структурами, к которым приурочены рудные залежи, отличающиеся большими размерами и высоким содержанием меди;

3) формирование руд происходило в две фазы: в первую фазу отложились минералы меди, во вторую — галенит, блеклые руды и сульфиды никеля и кобальта; характерно многообразие жильных минералов (кальцит, кварц, барит и др.);

4) первичная зональность проявляется как в пределах отдельных залежей, так и в вертикальном разрезе месторождения.

В обеих группах месторождений изменения вмещающих пород, выраженные в основном в серицитизации глинистого цемента, частичной раскристаллизации карбонатного цемента, незначительной альбитизации полевых шпатов, регенерации кварцевых зерен и окремнении пород, осложнены процессами общего диагенеза и эпигенеза, а также воздействием динамических процессов, вызвавших формирование складчатых структур.

Гидротермальной гипотезы происхождения медистых песчаников Центрального Казахстана, которая впервые была предложена К. И. Сатпаевым, придерживаются многие исследователи.

Согласно другой точке зрения, которую также разделяют ряд исследователей, месторождения медистых песчаников, в том числе месторождения Центрального Казахстана, относятся к осадочному типу. Так, В. М. Попов считает, что в пользу осадочной гипотезы образования этих месторождений свидетельствует отсутствие следов рудоподводящих каналов и связи оруденения с тектоническими нарушениями, которые, по его мнению, являются пострудными. В. М. Попов полагает, что рудные минералы и рудоносные слои принимали участие в этих нарушениях вместе с вмещающими породами, а их обломки входили в состав межпластовых брекчий. Он указывает на наличие в пластах рудных песчаников многочисленных растительных остатков, содержащих пирит в виде мельчайших выделений явно биохимического генезиса. Зональность в распределении рудных минералов В. М. Попов объясняет особенностями осадконакопления, которое происходило в условиях мелководного морского эпиконтинентального бассейна, испытавшего ритмические колебательные движения на фоне общего поднятия района. Вместе с другими компонентами осадка сульфиды участвовали в образовании слоистых текстур и обусловили их характер и разнообразие.

Верхнепалеозойские месторождения медных руд широко распространены в К Н Р. Среди них наиболее интересны мдноколчеданные

месторождения, приуроченные к вулканогенным породам (альбитизированным липарито-дацитовым туфам, кварцевым кератофирам), реже к тальково-хлоритовым сланцам.

Рудные залежи преимущественно линзообразной формы представлены массивными колчеданными и вкрапленными рудами, залегающими согласно с вмещающими их породами. Первичные руды состоят из пирита (главным образом), пирротина, халькопирита, сфалерита, галенита, тетраэдрита, магнетита, самородного золота. Нерудные минералы представлены кальцитом, кварцем, серицитом и хлоритом.

С более поздней фазой герцинской орогении связывают незначительные проявления медно-никелевого вкрапленного и прожилкового оруденения в пермских базальтах. Возможно, что эти базальты послужили основными источниками меди для более поздних по времени образования медистых песчаников КНР, заключенных в пермских угленосных отложениях. Рудные залежи медистых песчаников обычно пластообразной формы характеризуются бобовым сложением. Основной рудный минерал в них представлен халькозином. В небольших количествах присутствуют борнит, халькопирит и пирит. Средний размер конкреций – около 2 см, иногда больше. Встречаются мелкие обломки кварца с халькопиритом, купритом и турмалином, а также конкреции марказита и одиночные зерна куприта.

К позднепалеозойскому возрасту относятся крупнейшие в капиталистическом мире ресурсы медистых пиритов И с п а н и и. Основные месторождения их (*Рио-Тинто, Тарсис* и др.) сосредоточены в юго-западной части страны, в провинции Уэльва, на площади более 6 тыс. км^2. Район месторождений сложен сланцами и граувакками девона и карбона, интенсивно дислоцированными и интрудированными варисскими гранодиоритами и гипабиссальными кварцевыми альбитофирами; с последними генетически связывается оруденение.

Основное промышленное значение имеет месторождение Рио-Тинто (рис. 61), разрабатываемое уже более 3000 лет. Рудные залежи месторождения линзообразной формы распространяются до глубины 550 м и отличаются сравнительно крупными размерами. Самая значительная из них – Сан-Дионисио прослежена в длину на 1086 м при средней мощности 61 м в верхних горизонтах и 275 м в более глубоких. Встречаются линзы с площадью горизонтального сечения до 70 тыс. м^2 и запасами руды до 30 тыс. т на каждый метр глубины.

Руда представляет собой тонкозернистый плотный агрегат пирита с небольшой вкрапленностью халькопирита, сфалерита, галенита и других сульфидов, обычно приуроченных к краевым частям рудных тел, где последние обладают полосчатой текстурой. Первичные руды содержат 48–50% серы и 42% железа. Содержание меди незначительно и только в отдельных участках достигает 2,5%. Руды содержат от 0,25 до 1% мышьяка и „следы" висмута, селена и теллура. На всех месторождениях развита железная шляпа.

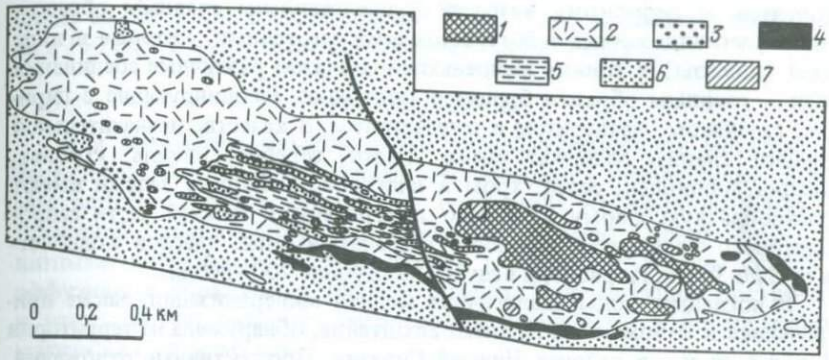


Рис. 61. Геологическая карта месторождения Рио-Тинто *(по Д. Вильямсу)*:

1 – железная шляпа; *2* – порфиры; *3* – краевая фация; *4* – массивные пириты; *5* – хлоритовые и кремнистые сланцы; *6* – сланцы; *7* – пиритизированные порфиры

Кроме основного меденосного района Рио-Тинто, месторождения меди известны в районе Эль-Кастильо (группа *Де-лас-Гардас* в провинции Севилья).

Общие запасы пирита в Испании оцениваются в 575 млн. т, а меди – в 3,8 млн. т. Около 75% этих запасов заключено в месторождениях Рио-Тинто (45%) и Тарсис (28%). Разведанные запасы руд с содержанием меди 3–4% почти исчерпаны. Добыча пирита в Испании в 1980 г. составила 2005 тыс. т (2800 тыс. т в 1975 г.), а меди – около 39,6 тыс. т (91 тыс. т в 1975 г.).

В сходных геологических условиях находятся месторождения медноколчеданных руд П о р т у г а л и и, расположенные в провинции Байшу. Меденосный район является западным продолжением основной меденосной полосы Испании, которая протягивается от Севильи через Уэльву в Португалию. Образование месторождений также связано с гипабиссальными варисскими интрузиями. В рудах наиболее крупного месторождения *Сан-Доминго* среднее содержание серы составляет 45–54%, меди 0,9–1,0%. Разрабатываются также месторождения *Лузаль*, *Серра-до-Ковейро* и др. В 1958 г. добыто 598 тыс. т пиритов; к 1978 г. их добыча снизилась до 325 тыс. т. Часть добываемых пиритов перерабатывалась в США и ФРГ. Медь вывозилась в Великобританию. О масштабах ее добычи сведения отсутствуют.

Промышленные медно-полиметаллические колчеданные месторождения верхнепалеозойского возраста известны в Ф Р Г. Они отличаются высоким качеством руд, но медь в них играет подчиненную роль по сравнению со свинцом и цинком.

Более важное экономическое значение имеет медь, заключенная в сланцах нижнего цехштейна, которые особенно широко распространены в районе Мансфельда на территории Г Д Р. Медистые сланцы

относятся к пермскому возрасту и представлены главным образом тонко рассланцованными битуминозными мергелями, которые в виде пыли (шпейзы) и тонких импреньяций содержат различные соединения меди – главным образом борнит и халькозин, ассоциирующие с пиритом, галенитом, сфалеритом и тетраэдритом. В качестве незначительной примеси сланцы содержат также золото, серебро, никель, кобальт, ванадий, молибден, селен, хром и платиноиды. Рудные залежи имеют пластообразную форму и обычно приурочены к нижней части сапропелитового горизонта. Мощность разрабатываемых пластов колеблется от 8 до 30 см. Разработки ведутся на глубине 700–800 м.

В последние годы аналогичная медная минерализация, также приуроченная к отложениям нижнего цехштейна, обнаружена на территории П о л ь ш и в районах Нижней Силезии. Продуктивные отложения, распространенные здесь на огромной площади, выражены в нижней части песчаниками, которые выше переходят в известковые глины и мергели. Рудные минералы представлены преимущественно халькозином и в меньшей мере борнитом и халькопиритом, образующим рассеянную вкрапленность и реже тонкие жилки. Кроме меди, руды содержат свинец, молибден, ванадий, никель, кобальт и серебро.

Большинство исследователей считают эти месторождения осадочными. Согласно трактовке Э. Константиновича, рудный материал поступал в седиментационный бассейн в виде растворов и эмульсий, и главные рудообразующие элементы – медь, свинец и цинк – выпадали из растворов в виде оксидов или карбонатов, которые в следующей стадии переходили в сульфиды. Существенную роль в формировании месторождений играли сульфидные бактерии. Вертикальная стратификация сульфидов меди, свинца и цинка обусловлена изменением pH водной среды. Первичным рудным минералом является почковидный пирит с эмульсионными скоплениями халькопирита. К более поздним минералам относятся халькозин, борнит, сфалерит и галенит. Первые два минерала образуют структуры взаимных срастаний. Серебро связано с сульфидами меди или присутствует в самородном состоянии.

Ф. Кёльбер считал, что интенсивность свинцовой минерализации зависит от доломитизации пород, при которой большая часть галенита мигрирует из медистых сланцев вверх и осаждается в трещинах нижней части доломитов. Поэтому, по его мнению, в свинцовых мергелях и медистых сланцах содержание свинца резко сокращается, а содержание цинка местами достигает 3–4%.

В И р л а н д и и разрабатывается медное месторождение *Эвока*. Медное оруденение проявлено здесь в форме линзообразных метасоматических залежей, приуроченных к зоне разлома в вулканогенно-осадочной толще ордовика вблизи интрузии нижнедевонских гранитов. Руды сохраняют реликтовую полосчатую текстуру сланцев. Главными рудообразующими минералами в них являются пирит, халькопирит, сфалерит и галенит. Среднее содержание меди в рудах составляет 1–1,18%, цинка 0,63%, свинца 0,23%. Размеры рудных залежей колеб-

лются в широких пределах. Наиболее крупная из них прослежена в длину на 600 м при средней ширине 30 м. Общие запасы меди оцениваются в 150 тыс. т, в том числе достоверные – в 100 тыс. т.

НИКЕЛЬ, КОБАЛЬТ

Для позднепалеозойской эпохи рудообразования эти металлы нехарактерны, и их промышленные месторождения крайне редки. К низам верхнего девона приурочены проявления кобальта на Алтае. В Восточной Сибири кобальтовое оруденение связано с небольшими гранитными интрузиями, внедрившимися в осадочные породы силура и эффузивные образования нижнего девона. Минерализация приурочена к участкам тектонических нарушений и проявляется в форме метасоматических жильных зон.

СВИНЕЦ, ЦИНК, СЕРЕБРО

Среди зарубежных стран наиболее крупные месторождения полиметаллических руд позднепалеозойского возраста расположены в США и Канаде. Промышленные месторождения свинца и цинка этого возраста известны также в ФРГ, Италии и Франции, но удельный вес их в общих ресурсах и добыче сравнительно невелик.

Предположительно к верхнему палеозою относится крупнейшая в мире провинция полиметаллических месторождений долины Миссисипи в С Ш А. Она включает цинково-свинцовый район *Три-Стейтс* (юго-западная часть штата Миссури и прилегающие районы штатов Канзас и Оклахома), Юго-Восточный свинцовый пояс Миссури, а также цинково-свинцовые месторождения северного Арканзаса и района Висконсин – Иллинойс.

Месторождения района *Три-Стейтс* приурочены к карбонатной свите бунн и реже к перекрывающим ее известнякам, песчаникам и сланцам также миссисипского возраста. Мелкие промышленные проявления полиметаллического оруденения установлены в вышележащих песчаниках и сланцах чероки пенсильванского возраста. Рудные пласты встречаются во всех стратиграфических горизонтах свиты бунн, сложенных известняками, кремнистыми и известково-кремнистыми породами. Основные рудоносные горизонты приурочены к нижней части свиты и обычно представлены крупнозернистыми криноидными известняками, содержащими многочисленные кремнистые прослои и желваки. Ниже главных рудоносных горизонтов прослеживается выдержанный кремнистый горизонт грэндфоллс мощностью 10–20 м, руды которого характеризуются более низким содержанием полезных компонентов.

Во всем этом обширном районе рудная минерализация проявилась в форме замещения карбонатных пластов или выполнения трещин в брекчированных кремнистых породах; в последнем случае сами кремнистые породы остались незатронутыми. Неправильная рукавообразная и кольцеобразная форма залежей основных рудоносных го-

ризонтов обусловлена многочисленными тектоническими нарушениями – крутыми сбросами и примыкающими к ним зонами трещиноватости и брекчирования, а также литологическим составом вмещающих пород, характером и формами дорудных полостей.

Размеры рудных залежей колеблются в широких пределах. Длина наиболее крупных из них достигает 3 км при мощности 30 м и ширине от 3 до 100 м. Обычно они залегают на сравнительно небольшой глубине (в среднем 170 м), но иногда обнажаются и на дневной поверхности. Основными рудообразующими минералами являются сфалерит и галенит. Почти постоянно присутствуют марказит, халькопирит, пирит и энаргит, при этом марказит иногда становится одним из главных рудных минералов. Нерудные минералы представлены доломитами и кальцитом. Кроме того, руды содержат значительное количество джаспероида, образовавшегося путем замещения карбонатов.

Среди различных по составу руд месторождений Три-Стейтс преобладают цинковые. Среднее содержание цинка в добываемой руде составляет 3–5%, свинца 0,4–1%. Месторождения заключают также крупные запасы более низкосортной руды с содержанием 2–3% цинка. Руды содержат значительное количество кадмия и германий. Месторождения разрабатываются с 1848 г., и к концу второй мировой войны здесь было добыто руды более чем на 1 млрд. долларов. Оставшиеся к 1950 г. общие запасы цинка в районе оценивались в 5,5 млн. т, а свинца – в 1 млн. т.

Более важное значение в настоящее время имеет *Юго-Восточный район Миссури*, месторождения которого отличаются преимущественно свинцовыми рудами. Рудный пояс этого района протягивается примерно на 55 км при ширине в несколько километров, включает многочисленные месторождения и считается одним из крупнейших в мире источников свинца. Оруденение здесь выражено в форме метасоматических пластовых залежей вкрапленных руд, приуроченных к почти горизонтально залегающим верхнекембрийским доломитам. Осадочные отложения района пересекаются крупным сбросом, обусловившим вертикальное смещение пород до 180 м. Широко проявлены также тектонические нарушения меньшей амплитуды.

Основные ресурсы свинца заключены во вкрапленных рудах, хотя весьма часто встречаются и массивные руды замещения, развитые вдоль плоскостей напластования или образующие прожилки и выполнения небольших пустот. Мощность рудных пластов изменяется от 0,5 до 60 м (в среднем 12–15 м) при ширине от 70 до 300 м. Залегают они на глубине 30–170 м от поверхности. Основной рудообразующий минерал – галенит, кристаллы которого нередко достигают 2,5 см в поперечнике. В качестве небольшой примеси присутствуют марказит, халькопирит, зигенит (кобальт-никелевый сульфид), сфалерит и пирит. Из нерудных минералов, кроме доломита, в небольших количествах встречаются кальцит, глауконит и диккит. Среднее содержание свинца в добытой руде составляло 2,7–3%. Месторождения эксплуатировались с 1800 г. и давали ежегодно до 150 тыс. т свинца. При столь интенсивной и дли-

тельной разработке разведанные запасы свинца почти полностью исчерпаны, и с 1964 г. горные работы стали перемещаться во вновь выявленный свинцовый пояс – *Вибурнум*, или *Нью-Миссури*. Он расположен в 80 км от Старого свинцового пояса и простирается на 65 км вдоль западного крыла гряды Сент-Франсис. Оруденение приурочено к доломитам верхнего кембрия мощностью 60–135 м. Разрабатываются рудные тела неправильной формы, в которых рассеянные сульфидные минералы представлены в основном галенитом с небольшим количеством сфалерита и сульфидов меди. Отдельные залежи прослеживаются на 1,6–8 км и на глубину около 400 м. Крупнейшим здесь является горнорудный комбинат *Браши-Крик*, состоящий из рудника и обогатительной фабрики проектной мощностью около 5 тыс. т руды в сутки. Разрабатывается рудное тело длиной 8 км, шириной от 15 до 300 м и мощностью от 4,2 до 15 м. Руда, поступающая на обогатительные фабрики, содержит 4,3% свинца, 0,85% и 0,05% меди. Суточная производительность на соседнем руднике – *Флетчер* – 4,7 тыс. т руды, содержащей в среднем 7,6% свинца и 0,75% цинка; рудное тело простирается на 8 км, ширина его 60–600 м, мощность в среднем 6 м.

Предусматривается строительство рудника на месторождении *Вест Форк*, запасы руд которого составляют 13,5 млн. т при среднем содержании 5,5% свинца, 1,2% цинка, 10 г/т серебра. Здесь будут добывать ежегодно 46 тыс. т свинца, 7 тыс. т цинка и 3,9 тыс. кг серебра (по содержанию в концентрате).

Строительство подземного рудника и обогатительной фабрики начнется в 1980 г. Они должны вступить в строй в 1984 г. и достигнуть полной производственной мощности.

Общие запасы руд Нью-Миссури оцениваются в 1 млрд. т при содержании свинца 2,5–3,0%.

К доломитам кембрийского возраста приурочено оруденение недавно выявленного в центральной части штата *Теннесси* крупного цинкового пояса.

К метасоматическому типу оруденения в карбонатных породах относятся также цинково-свинцовые руды района долины *Верхней Миссисипи*, охватывающего прилегающие части штатов Висконсин, Иллинойс и Айова. Оруденение, проявленное главным образом в форме вкрапленных и реже трещинных массивных руд, приурочено к доломитам ордовикского возраста. Небольшие проявления полиметаллической минерализации встречаются также в кембрийских и силурийских отложениях.

Промышленные руды содержат сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, золото, марказит, миллерит, серебро, вюртцит. Из нерудных минералов встречаются анкерит, барит, кальцит, доломиты и кварц. В галените в качестве изоморфной примеси присутствует серебро – от 2,8 до 56 г/т. Кроме того, руды содержат в незначительных количествах кадмий, германий, молибден и цирконий. Галенит преобладает в верхних горизонтах месторождений, сфалерит – на больших глубинах,

где развиты никелевые и мышьяково-кобальтовые минералы. С глубиной повышается и содержание доломита и кварца. Отмечается горизонтальная зональность оруденения, выраженная в преимущественном развитии свинцовых руд на периферии района, а цинковых – в центральной части.

Дискуссия о происхождении месторождений долины Миссисипи длится около 100 лет. Большинство исследователей считают эти месторождения гидротермальными и относят их к классу телетермальных, образованных при низких давлениях и температурах не выше 100°С. Менее популярна гипотеза образования этих месторождений циркулирующими подземными водами.

Относительно возраста месторождений также существуют различные взгляды, но господствует точка зрения, согласно которой рудообразование происходило в позднепалеозойское время и связано с тектоническими нарушениями и магматической деятельностью аппалачской орогении. Следует отметить, что широко развитые в этой рудной провинции дайки основных пород, с которыми в районе Кентукки – Иллинойс связаны интенсивные нарушения и минерализация, контактируют только с палеозойскими породами, и верхняя возрастная их граница не установлена. Только в Арканзасе отдельные интрузивы прорывают нижнемеловые породы и перекрываются верхнемеловыми образованиями, но вопрос, относятся ли к этому же магматическому цинку другие интрузивы района и рудообразование, остается открытым. Некоторые геологи считают, что полиметаллические месторождения долины Миссисипи одновозрастны с карнотитовыми урановыми рудами штатов Юта и Колорадо, возраст которых определен урановосвинцовым методом в 60 млн. лет.

В Канаде к позднепалеозойскому возрасту относится одно из крупнейших в мире месторождений *Пайн-Пойнт*, разведанное близ Большого Невольничьего озера. Полиметаллическое оруденение проявлено в форме тел замещения и выполнения пустот в доломитах среднего девона. Главные рудообразующие минералы – сфалерит, галенит, марказит и пирит. Содержание цинка в рудах составляет 7,4%, свинца 4%. Общие запасы этих металлов оцениваются соответственно в 8 млн. и 4,3 млн. т. В Северо-Западных территориях выявлен также ряд менее крупных свинцово-цинковых месторождений замещения в карбонатных породах. Большое достоинство руд Пайн-Пойнт и других месторождений района – возможность отработки их открытым способом, причем старые истощившиеся карьеры заменяются новыми с новейшим оборудованием, способствующим повышению производительности. В настоящее время действует пять карьеров.

Объем ежегодной добычи составляет 3,5–4 млн. т руды. Ежесуточная добыча оценивается в 10–11 тыс. т руды, содержащей 2,3–2% свинца и 5,5% цинка.

Одной из главных проблем является осушение карьеров, так как многие небольшие месторождения рудной зоны находятся ниже уровня грунтовых вод. Затраты на осушение выработок в 1977 г. составили 2,8 млн. долл.

Годовая производительность горно-обогатительного комбината составляет 300 тыс. т цинкового концентрата и 90 тыс. т свинцовго.

Сходными ресурсами свинцово-цинковых руд характеризуется месторождение *Батерст*, в пределах которого выделяется 17 промышленных участков, приуроченных к силикатным осадочным и эффузивным породам ордовика и девона. Разведанные запасы только двух освоенных участков на начало 1976 г. составляли 98 млн. т руды, содержащей 9,1% (8,9 млн. т) цинка, 3,7% (3,6 млн. т) свинца, 87 г/т серебра и 0,3% меди.

Полиметаллические руды, приуроченные к комплексу вулканогенных пород ордовика, известны в Ньюфаундленде. В наиболее крупном месторождении *Бучэнс* рудные тела состоят из сульфидов свинца, цинка и меди, заключенных в баритовой жильной массе, и приурочены к рассланцованным туфам.

Месторождения свинца, цинка и серебра позднепалеозойского возраста сравнительно широко распространены в Западной Европе, особенно в Ирландии и Испании.

В 60-х годах зародилась новая, сравнительно крупная сырьевая база для производства свинца и цинка в Ирландии. Общие запасы этих металлов оцениваются соответственно в 2,1 и 8,5 млн. т при среднем их содержании в руде 2,2 и 9,3%. В 1965 г. в стране начата разработка месторождения *Тайнах*, разведанные запасы сульфидных руд которого составляли 3,5 млн. т при содержании в них 4,7% свинца, 4,2% цинка, 0,6% меди и 62 г/т серебра, а запасы окисленных руд – 4 млн. т при среднем содержании свинца 8,5%, цинка 6,5%, серебра 100 г/т. В 1966 г. здесь добыто открытым способом 494 тыс. т (в 1967 г. – 703 тыс. т) окисленной руды и получено 44,7 тыс. т свинца, 24,8 тыс. т цинка, 1 тыс. т меди и 37,9 т серебра.

В 1968 г. начата эксплуатация месторождения *Сильвермайнз (Могул)*, разведанные запасы которого составили 11,6 млн. т руды, содержащей 2,8% свинца, 8,16% цинка и 2,5 г/т серебра. Суточная производительность определена в 2,8 тыс. т руды.

В 1978 г. введено в строй эксплуатируемых месторождение *Нейвен*, приуроченное к нижнекаменноугольным массивным светлым доломитам. Рудоносная площадь прослеживается в длину на 1,8 км при ширине более 300 м и мощности 120 м. Глубина залегания руд варьирует от первых метров до 600 м. Двумя разломами залежь расчленена на три рудные зоны, самая богатая из которых – центральная. Общие запасы руд месторождения оценивались в 77,0 млн. т при среднем содержании 9,9% цинка и 2,0% свинца; в рудных залежах центральной зоны суммарное содержание этих металлов достигает в среднем 20%. Руды в основном массивные с преобладанием сплошных, полосчатых, брекчиевидных и слоистых текстур. Рудные минералы представлены сфалеритом и галенитом, с подчиненным количеством пирита и марказита. Месторождение открыто в 1970 г., и разведка его завершена в 1977 г. Добыча за первый год составила 1,5 млн. т руды, из которой получено 308,3 тыс. т цинкового и 28,7 тыс. т свинцового концентрата.

. Проектная мощность рудника составляет 470 тыс. т концентратов

в год при суточной добыче руды 7 тыс. т. Бóльшая часть месторождения будет эксплуатироваться подземным способом с производительностью 2,3 млн. т руды в год.

В 1980 г. общее производство свинца в стране достигло 71,3 тыс. т и цинка 212,5 тыс. т.

Широко распространены месторождения свинца и цинка в ряде районов И с п а н и и, где формирование их связано с проявлениями магматизма, начиная с верхнего палеозоя и до кайнозоя включительно. С герцинскими гранитоидами пространственно и генетически связаны многочисленные полиметаллические месторождения жильного типа провинции Хаэн. По масштабу свинцовой минерализации здесь выделялись разрабатываемые с прошлого века месторождения *Линарес* и *Ла-Каролина,* из руд которых уже извлечено более 1 млн. т свинца и значительное количество серебра. Мощность отработанных жил колебалась от 0,4 до 2,0 м при среднем содержании свинца свыше 10% и серебра до 300 г/т. Основные рудные минералы – серебросодержащий галенит, пирит и арсенопирит. В последнее время свинец извлекался также из богатых отвалов, накопленных в районе этих месторождений.

К верхнему палеозою, возможно, относятся сравнительно недавно введенные в эксплуатацию месторождения свинцово-цинковых руд *Асналькольяр* в провинции Севилья, *Сотиель* в Уэльве и разведанное *Рубиалес* в Луго. Запасы полиметаллических руд на месторождении Асналькольяр составляют 44,5 млн. т при содержании свинца 1,7%, цинка – 3,3%, меди – 0,44% и серебра – 67г/т. Сходны по составу полезных компонентов запасы полиметаллических руд месторождения Сотиель, оцениваемые в 40 млн. т. Запасы месторождения Рубиалес, представленного метасоматической залежью в карбонатных породах кембрия, подсчитаны в размере 7,5 млн. т руды, содержащей 9,0% цинка и 1,7% свинца.

В Ф Р Г оруденение приурочено к палеозойским отложениям от среднего девона до верхнего карбона и генетически связано с варисским магматизмом. Наиболее крупными ресурсами свинца отличалось месторождение *Мехерних,* приуроченное к конгломератам и песчаникам так называемого среднего пестрого песчаника, который трансгрессивно залегает на девонских отложениях. Оруденение представлено неравномерно рассеянными в песчаниках (и в меньшей мере в перекрывающих их конгломератах) конкрециями (1–5 мм), состоящими из кварцевых зерен и галенита, который местами превращен в церуссит. Мощность рудоносного песчаника составляла 18–20 м. Полоса этих оруденелых пород прослеживалась на протяжении 10 км при средней ширине 1 км. Среднее содержание свинца колебалось в пределах 1,6–3,2%. Месторождение эксплуатировалось еще кельтами и римлянами, в значительной части выработано, но оставалось важнейшим источником свинца в ФРГ, обеспечивая до 15–20% суммарной добычи его в стране. В 1975 г. месторождение законсервировано.

Наиболее крупные запасы цинка в ФРГ сосредоточены в месторождении *Мегген.* Руды колчеданного типа в форме пластовых залежей

мощностью 3–6 м залегают в девонских известняках. Они представлены преимущественно пиритом с прослойками сфалерита, незначительной примесью халькопирита и галенита и большим количеством барита, особенно в верхних горизонтах. Содержание цинка составляет в среднем 5%, свинца 0,1%.

Значительные запасы свинца и цинка заключены в колчеданных залежах месторождения *Раммельсберг*, приуроченных к виссенбахским сланцам среднего девона. Руды отличаются высоким качеством. Основными рудными минералами в них является галенит, сфалерит, халькопирит и пирит, среди нерудных преобладают барит и карбонаты.

Большая часть руд представлена плотными тонкокристаллическими разностями, содержащими 7% свинца, 16% цинка, 1,3% меди, 12–13% железа, 20% барита и 130 г/т серебра. В лежачем боку рудных залежей развиты полосчатые сланцевые руды, содержащие в среднем 3,5% свинца, 7% цинка, 0,5% меди. Более бедные руды приурочены к висячему боку залежей (около 1,5% свинца, 3% цинка и 1,5 меди). Запасы руды составляют 10 млн. т.

Помимо свинца, цинка, меди, серебра, железа и барита, руды месторождений ФРГ содержат в переменных количествах сурьму, мышьяк, кадмий, олово, никель, висмут и ряд других полезных компонентов, часть которых попутно извлекается. Руды Раммельсберга, например, содержат марганца 1,3 %, серы 21 %, сурьмы 800 г/т, мышьяка и кадмия по 500 г/т, кобальта 150, висмута 70, олова 50, ртути 40, никеля 20, индия 20, теллура 10, золота 1 г/т.

Общие запасы цинка в месторождениях ФРГ составляют около 5 млн. т, свинца 4 млн. т при среднем содержании их в рудах соответственно 5,2 и 1,4%. В последнее время годовой уровень производства свинца в концентрате составляет 31–33 тыс. т, цинка 117–121 тыс. т. Большая часть потребности страны в этих металлах удовлетворяется за счет импортных руд и концентратов.

Многочисленные месторождения свинца и цинка позднепалеозойского возраста известны в различных районах И т а л и и, особенно в Сардинии. Здесь проявлены два основных типа оруденения – рудоносные известняки кембрийского возраста и рудные жилы в известняках, сланцах и гранитах.

Среди рудоносных известняков выделяются три группы месторождений, различающиеся характером минерализации. К первой группе относятся галенитовые руды, которые в форме пропластков, линз и жил обычно залегают параллельно контакту известняков со сланцами. Галенит содержит серебро, количество которого в рудах колеблется от 100 до 400 г/т. Встречается киноварь в виде налетов и примазок в жеодах галенита. Вторая группа месторождений представлена существенно цинковыми рудами, в которых основными рудообразующими минералами являются каламин, смитсонит и гидроцинкит, присутствующие в форме конкреций. Иногда встречается сфалерит и в качестве незначительной примеси киноварь. Рудные залежи имеют форму линз или столбов, как правило, параллельных направлению

первичной стратификации известняков. От рудных залежей первой группы месторождений они отличаются более крупными размерами. К третьей группе относятся месторождения окисленных цинковых руд с высоким содержанием серебросодержащего церуссита.

Главный рудообразующий минерал в месторождениях широко развитого в Сардинии жильного типа – галенит, характеризующийся особенно высоким содержанием серебра; количество последнего в руде составляет в среднем 1–3 кг/т. В качестве незначительной примеси присутствуют пирит, сфалерит, иногда наблюдаются налеты киновари на жеодах галенита. Жилы располагаются параллельно двум главным направлениям кливажа. Иногда они пересекают всю мощность рудоносных известняков и проникают в подстилающие сланцы и перекрывающие их песчаники. Участки жил в этих породах отличаются убогой минерализацией.

Месторождения в рудоносных известняках считаются почти одновозрастными с варисскими диабазовыми дайками и гранитами, известными в этих районах. Им свойственны небольшие размеры и сравнительно высокое содержание в рудах цинка (8%) и свинца (5%). Остается открытым вопросом о возрасте рудных жил, не связанных с рудоносными известняками. Среди них наибольшее значение имеет жильная зона *Монтевеккио,* приуроченная к силурийским сланцам и прорывающему их, по-видимому, варисскому, граниту. Эта зона прослеживается на протяжении 6 км при мощности до 20 м. Основными рудообразующими минералами являются здесь сфалерит и галенит, превращенные в близповерхностной части жил в церуссит. В добываемой руде среднее содержание свинца составляет 2–3% и цинка 5–7%.

Общие запасы цинка в Италии оцениваются в 2000 тыс. т, свинца – в 900 тыс. т. В 1980 г. производство цинка в концентрате составило 58,2 тыс. т, свинца 23,9 тыс. т. Более 75% указанных запасов заключены в месторождениях верхнепалеозойского возраста, и примерно такой же удельный вес верхнепалеозойские месторождения занимают в добыче этих металлов.

В последнее время заметно укрепилась сырьевая база свинцово-цинковой промышленности Франции. Введен в строй горнообогатительный комбинат на базе одновременно разрабатываемых двух рудных залежей. Одна из них содержит 2% свинца, 15% цинка и 200 г/т серебра, а другая – 0,2% свинца, 7% цинка и 60 г/т серебра. На обогатительной фабрике производительностью 1,2 тыс. т руды в сутки получают концентрат, содержащий 52% цинка, 5% свинца и серебро. В Бретани разведуется месторождение *Боденнак,* запасы которого оцениваются в 2,6 млн. т руды, содержащей 200 тыс. т меди, свинца и цинка и 2,64 г/т серебра. Данные о возрасте этих месторождений отсутствуют. Ранее известные месторождения в стране формировались в разное время и связывались с образованиями верхнего палеозоя и мезозоя.

Производство во Франции свинца и цинка в концентрате в 1980 г. составило соответственно 28,4 тыс. и 36,8 тыс. т.

К позднепалеозойскому возрасту относится ряд мелких месторождений свинца и цинка в Австрии и Великобритании, где в 1980 г. произведено соответственно 4,3 и 2,4 тыс. т свинца в концентрате, 19,1 тыс. и 4,4 тыс. т цинка.

Многочисленные месторождения, преимущественно небольших масштабов, распространены во многих районах КНР, где они приурочены к верхнепалеозойским осадочным отложениям и связаны с проявлениями герцинского магматизма. Наиболее крупные горнообогатительные и металлургические предприятия по добыче и переработке полиметаллических руд созданы на базе месторождений *Ситешань* в провинции Цинхай, *Фанькоу* и Фандун в провинции Гуандун.

Разведанные запасы свинца и цинка месторождения Ситешань составляли примерно 2,5 млн. т при среднем содержании этих минералов около 8%. Перспективные запасы свинца оценивались в 1,5 млн. т и цинка в 2,5 млн. т. Более высоким содержанием свинца и цинка (около 6 и 12% соответственно) характеризуются руды месторождения Фанькоу, разведанные запасы этих металлов которого превышают 3 млн. т, перспективные – 4 млн. т.

Крупными масштабами отличается рудная залежь месторождения Фандун, прослеженная на протяжении 3,2 км. Содержание в ней свинца составляет 2,2%, цинка 4,8% и меди 0,5%. Из руд указанных месторождений попутно со свинцом и цинком извлекаются золото, серебро, кадмий и пирит.

Руды залегают в отложениях карбона и девона и носят стратиформный характер.

В восточном Юньане и в западной части Гуйчжоу оруденение приурочено к известнякам послесилурийского возраста и, вероятно, связано с пермскими базальтовыми экструзиями. Жильные массы сложены джаспероидом, баритом, кальцитом, каолином, лимонитом, а основными рудными минералами являются серебросодержащий галенит и сфалерит.

Многочисленные месторождения свинца и цинка позднепалеозойского возраста известны в различных районах СССР. К ним относятся все промышленные полиметаллические месторождения Рудного Алтая – *Риддер-Сокольное* (рис. 62), *Тишинское* (рис. 63), *Иртышское, Зыряновское, Орловское* и др., подавляющее большинство которых приурочено к вулканогенно-осадочным образованиям девона, только в отдельных случаях рудные залежи встречаются в нижнекаменноугольных отложениях. Известные здесь рудные поля вытянуты согласно со складчатостью – с юго-востока на северо-запад. Промышленные скопления руд контролируются элементами складчатых структур, разломами и зонами дробления, благоприятными литологическими горизонтами, экранирующими породами и зонами расслаивания. Закономерной связи оруденения с определенными структурными элементами пока достоверно не установлено. Общей закономерностью принято считать приуроченность оруденения к позднегерцинским разломам.

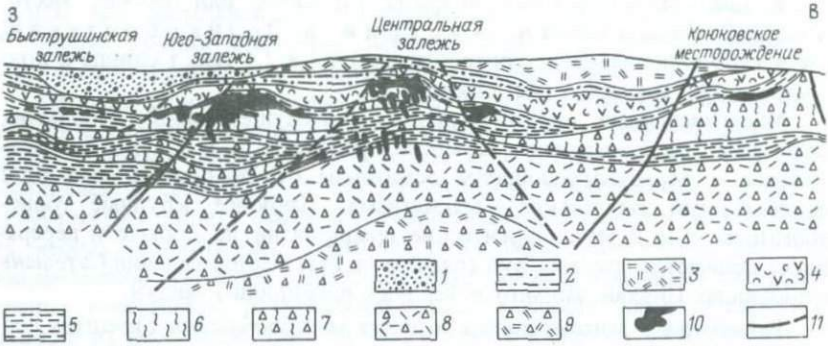


Рис. 62. Схематический разрез Риддер-Сокольного месторождения *(по Б. Л. Чепрасову)*:

1 – четвертичные отложения; *2* – сокольная свита – аргиллиты, песчаники; *3* – альбитофиры; *4* – ильинская свита – туфы и лавы среднего и основного состава; *5–7* – крюковская свита: *5* – алевропелиты, *6* – микрокварциты, *7* – вулканогенно-осадочные брекчии; *8–9* – лениногорская свита: *8* – туфы, лавы кислого состава, *9* – брекчии; *10* – рудные тела; *11* – разломы

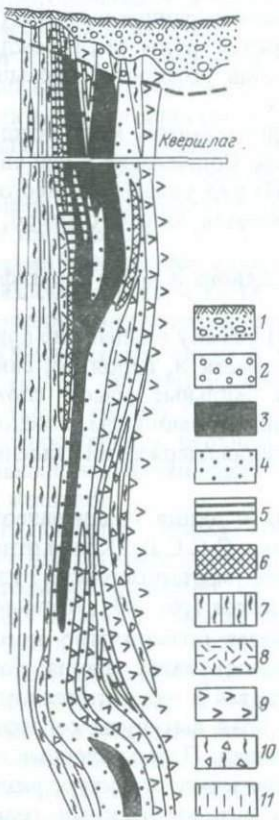


Рис. 63. Поперечный разрез Главного рудного тела Тишинского месторождения *(по Б. В. Манькову)*:

1 – четвертичные отложения; *2* – окисленные руды; *3* – сплошные полиметаллические руды; *4* – прожилково-вкрапленные полиметаллические и медно-цинковые руды; *5* – сплошные цинковые руды; *6* – сплошные медноколчеданные руды; *7* – кварц-серицитовые сланцы; *8* – серицитовые сланцы; *9* – порфириты; *10* – микрокварциты и серицит-кварцевые породы; *11* – зоны повышенного рассланцевания

Некоторые исследователи считают, что оруденение парагенетически связано со шток-силловой субвулканической фацией альбитовых порфиров девонского возраста. Близка к этой трактовке гипотеза о синхронности колчеданных и полиметаллических месторождений с кислыми эффузивно-пирокластическими породами девона и о метаморфизме их при позднейшем складкообразовании. В пользу послерудного образования тектонических разрывов свидетельствуют более сильный метаморфизм руд, наблюдаемый в зонах смятия, и дизъюнктивные нарушения в самих рудных залежах. Отмечается также находка в конгломератах девонских толщ гальки микрокварцитов с вкрапленными сульфидами.

Характерная черта Рудного Алтая – полиметаллическое оруденение. Подчиненное значение имеют мономинеральные медные или свинцовые руды. Собственно полиметаллические месторождения представлены кулисообразно расположенными рудными телами, слагающими крупные рудные зоны протяженностью до нескольких тысяч метров. По форме рудные скопления представляют собой сочетания межпластовых и седловидных тел с секущими рудными телами. Реже встречаются небольшие жильные месторождения. Размеры рудных залежей колеблются в широких пределах: длина их по простиранию изменяется от десятков метров до 1000 м, а иногда и более, мощность – от единиц метров до 100 м. Руды содержат в промышленных концентрациях свинец, цинк, медь. Попутно могут извлекаться кадмий, галлий, сера, барит.

Процессы супергенного изменения руд в ряде месторождений распространяются на глубину более 200 м. Изменения вмещающих пород выражены в основном в хлоритизации, серицитизации, окварцевании осадочных пород, а также в серицитизации и окварцевании вулканогенных пород кислого состава.

Многочисленные месторождения полиметаллических руд известны в *Центральном Казахстане*, где они приурочены преимущественно к региональной Успенской зоне смятия, а также к обрамляющим ее параллельным зонам дробления и сопряженным локальным тектоническим зонам.

Зоны разломов пересекают палеозойские осадочные и эффузивные образования, прорванные герцинскими интрузиями. Здесь выявляются весьма разнообразные рудные формации. В карбонатных породах развиты, главным образом, скарновые руды, в песчанистых, содержащих пропластки известковистых пород, – скарновые и барито-сульфидные, а в эффузивных породах – кварцево-сульфидные. Для большинства месторождений характерно крутое падение рудных тел (70–90°), сложное их строение, наличие ряда параллельных зон, заключающих несколько рудных линз. Мощности залежей обычно колеблются в пределах первого десятка метров, но иногда достигают 20–30 м при весьма значительной протяженности по простиранию и падению.

Большое значение имеет *Жайремское* полиметаллическое месторождение, разведанное и введенное в разработку в последнее время

на западе Центрального Казахстана в Атасуйском рудном районе. Оно приурочено к кремнисто-карбонатным отложениям верхнего девона – нижнего карбона, содержащим прослои и линзы основных эффузивов и их туфов. Рудные залежи линзообразной и пластовой формы залегают согласно с вмещающими породами в крыльях и сводах антиклинальных и в ядрах синклинальных складок в пределах более крупной *брахиантиклинальной структуры. В составе продуктивного горизонта* участвуют прослои железных, железо-марганцевых, свинцово-цинковых и барито-полиметаллических руд. Рудные тела по падению прослежены местами до глубины 260–540 м без выклинивания. Среднее содержание в рудах свинца 1,8%, цинка 5,0%.

К карбонатным отложениям фаменского и турнейского ярусов хр. *Каратау* приурочены месторождения полиметаллических руд двух типов – трещинных и вкрапленных. Свинцово-цинковая минерализация, проявленная в породах более древнего возраста, вплоть до нижнего силура, практического значения не имеет. Промышленные руды Каратау *представлены карбонатными баритизированными* породами с вкраплениями, прожилками и гнездами рудных минералов, из которых главными являются галенит, церуссит и пирит. В подчиненных количествах встречаются сфалерит, теннантит, аргентит, халькозин, халькопирит, арсенопирит, гематит, марказит, тетраэдрит, самородная медь, серебро и свинец. Что касается происхождения месторождений, то одни геологи связывают их формирование с гидротермальной деятельностью, обусловленной внедрением позднегерцинских гранитных интрузий, а другие рассматривают их как морские осадочные образования, сингенетичные вмещающим карбонатным толщам.

К верхнему палеозою относятся полиметаллические месторождения *Средней Азии,* среди которых особенно широко распространен скарновый тип оруденения. В ряде месторождений отчетливо проявлен тектонический контроль оруденения. По данным Н. В. Нечелюстова и других исследователей, полиметаллические месторождения Западного Карамазара приурочены к разломам типа взбросов, сбросов и сдвиго-взбросов, причем наиболее благоприятными для локализации оруденения *оказались участки их искривлений, выполненные* малыми интрузиями, а также участки пересечений и сопряжений с другими разломами. Особо отмечается значение карбонатных пород как среды, наиболее благоприятной для рудоотложения, и поэтому рудоносные скарны являются основным промышленным типом месторождений в этом районе, хотя сульфидная минерализация проявилась также в сланцах, эффузивах и интрузивных породах. В последних развиты преимущественно баритовые, флюоритовые и кварцевые жилы, а также зоны окварцевания.

В Западном Карамазаре наиболее крупные месторождения сосредоточены в *Алтын-Топканском рудном районе – Алтын-Топкан, Северный Алтын-Топкан, Чал-Ата* и др., рудные тела которых залегают в толще скарнированных известняков верхнего девона – нижнего карбона на контакте с интрузиями гранитоидов. Содержание в рудах

свинца колеблется от 1,9 до 6,1%, цинка – от 1,7 до 6,3%. Аналогичные скарновые месторождения с небольшими запасами свинца и цинка развиты в Кансайском рудном районе.

В *Восточном Карамазаре* промышленное свинцово-цинковое оруденение развито в эффузивах верхнего палеозоя и представлено месторождениями *Канимансур, Карататкотан, Чукур-Джилга* и др. Рудные тела представлены жилообразными залежами и прожилково-вкрапленным оруденением штокверкового типа в зонах дробления. Содержание в руде свинца составляет 2–3%, цинка 0,7–1,4%.

Месторождения свинца и цинка, связанные с герцинским магматизмом, известны и в ряде других районов СССР, в частности на Северном Кавказе.

ОЛОВО, ВОЛЬФРАМ

Промышленные месторождения этих металлов позднепалеозойского возраста встречаются сравнительно редко. Наиболее крупные из них расположены в Австралии, Англии, Франции и Португалии. Известны промышленные месторождения олова и вольфрама в СССР.

В Австралии *месторождения олова и вольфрама* распространены в восточной зоне герцинид, протягивающейся через весь континент до о. Тасмания включительно. Все они представлены кварцевыми или пегматитовыми жилами, пространственно и генетически связанными с герцинскими гранитами. Касситерит и вольфрамит в них большей частью присутствуют совместно. Помимо этих двух минералов, жилы содержат в заметных концентрациях молибденит, халькопирит и арсенопирит. Наиболее крупное месторождение *Эйберфойл* представлено серией кварцевых жил длиной до 700 м и мощностью 1 х 2 м, приуроченных к контакту девонских гранитов с кварцитами и сланцами силура. *Содержание олова в рудах* составляет 0,6% и триоксида вольфрама 0,7%. Общие запасы олова оцениваются в 70 тыс. т. Годовая производительность рудника 120–140 тыс. т руды, 300–350 т олова.

Примерно аналогичными по объему общими запасами (74 тыс. т олова при его содержании в руде 1,23%) располагает месторождение *Ренисон-Белл,* генетически связанное с дайками кварцевых порфиров, прорывающими сланцы серии дундас. Руды сложены кварцем, арсенопиритом, пирротином, в небольших количествах присутствуют вольфрамит, халькопирит, марказит, магнетит, станнин, тетраэдрит, *джемсонит, канфильдит, франкеит, пираргирит,* самородные висмут и золото. В прошлом здесь разрабатывалось месторождение Маунт-Бишоф, также локализованное в образованиях серии дундас, на котором было добыто 54 тыс. т олова. Менее крупными запасами располагают месторождения *Маунт-Кливленд* (1720 тыс. т руды, содержащей 0,79% олова) и *Ардлтан* (1820 тыс. т руды, содержащей 0,59% олова).

С коренными месторождениями обычно связаны оловоносные россыпи, в которых содержание олова нередко превышает 2 кг/м^3.

Наиболее крупный источник добычи вольфрама – месторождение шеелитоносных скарнов *Кинг-Айленд*, расположенное на одноименном острове и представленное несколькими межформационными залежами в толще гнейсов, сланцев и мраморов докембрия, на значительном удалении от выхода массива верхнепалеозойских гранитов. Разрабатываются два участка, на которых добыто более 17 тыс. т WO_3; оставшиеся ее запасы составляют 55 тыс. т. Обогатительная фабрика мощностью 300–400 тыс. т руды в год выпускает 1300–1500 т WO_3 в концентрате.

В Европе основными источниками олова издавна служат месторождения Великобритании (Корнуэллские), а также оловянные и оловянно-вольфрамовые месторождения Испании (в провинциях Галисия и Леон) и Португалии (в провинциях Минью, Траз-уж-Монтиш и Бейра-Байша).

Корнуэллские месторождения Великобритании распространены на площади 150 х 40 км. Этот обширный район сложен палеозойскими сланцами, аргиллитами и эффузивными породами, прорванными шестью крупными штоками порфировидных гранитов верхнекаменноугольного возраста. Сланцы на контакте с гранитами ороговикованы и в них развиты андалузит и кордиерит. Граниты обычно грейзенизированы и местами превращены в своеобразные шерловые породы, целиком состоящие из кварца и турмалина; реже встречаются кварц-мусковитовые грейзены. Оруденение приурочено к порфировидным гранитам и обычно концентрируется в участках развития даек и небольших штоков мелкозернистых гранитов и кварцевых порфиров. Рудные тела представлены жилами и минерализованными зонами дробления.

Среди рудных жил выделяются две группы; 1) высокотемпературные с касситеритом, вольфрамитом, арсенопиритом, халькопиритом и 2) менее высокотемпературные с галенитом, сидеритом, стибнитом. Преобладающим жильным минералом рудных тел является кварц; присутствуют турмалин, флюорит, хлорит, пирит, гематит. Встречаются арсениды никеля и кобальта, урановая смолка, молибденит, магнетит, шеелит, станнин, карбонаты, барит и др. Размеры рудных тел меняются в широких пределах. Протяженность отдельных жил достигает нескольких километров при мощности от 0,3–2 до 12 м. Содержание олова в рудах обычно колеблется от 0,3–0,4 до 1,8%. Кроме коренных месторождений, здесь широко распространены оловоносные россыпи.

Корнуэллские месторождения эксплуатируются с древних времен и в основном уже выработаны. В последнее время добыча осуществлялась в незначительном объеме на глубине до 1000 м и оказывалась рентабельной только в связи с комплексным составом руд, из которых, кроме олова, извлекались уран, вольфрам, медь, сурьма, мышьяк.

Содержание U_3O_8 в рудах Корнуэлла обычно колеблется от 0,05 до 0,1%, но встречались богатые урановой смолкой разности, в которых содержание U_3O_8 достигало 0,5%. В 70-х годах в пределах старых рудников выявлены две новые залежи. Так, на руднике *Уил-Джейн* на глубине 300 м разведана пологопадающая рудная зона, представленная жилами в породах девона и прослеженная на протяжении 3 км. Среднее содержание олова 1,25%, запасы порядка 60 тыс. т. В пределах рудника *Маунт-Веллингтон* вскрыта рудная зона мощностью около 14 м, запасы руд которой оцениваются 25 млн. т при содержании олова 1,37%. Частичная отработка этих залежей позволила Великобритании увеличить добычу до 4 тыс. т.

По содержанию в рудах вольфрама выделяется месторождение Хемертон, разработка которого периодически осуществлялась с 1910 г. В последнее время проводилась его доразведка, позволившая оконтурить оруденение на протяжении 650 м при ширине 150 м и по падению на 200 м. Подсчитанные запасы руд составили 45 млн. т при среднем содержании WO_3 0,17% и Sn 0,025%. Проектируемый объем добычи составит 2 млн. т руды.

За все время эксплуатации Корнуэллских месторождений добыто более 2 млн. т олова. Общие оставшиеся запасы металла составляют 260 тыс. т, в том числе доказанные – 130 тыс. т при содержании олова в руде 0,85–1,5%.

Месторождения вольфрама и олова жильного типа, генетически связанные с герцинскими гранитами, распространены в северо-восточной части Португалии и в смежных районах Испании. Месторождения отличаются небольшими масштабами, но сравнительно высоким качеством руд. Коренные месторождения часто сопровождаются россыпями; последние характеризуются промышленным содержанием полезных компонентов и благоприятными горнотехническими условиями разработки. Общие запасы месторождений обеих стран оцениваются в 41 тыс. т WO_3 и в 30 тыс. т Sn. Содержание WO_3 в разрабатываемых коренных месторождениях достигает 1,2–1,8%, Sn 0,3–2,5%. Добыча Sn в 1980 г. составила 3,0 тыс. т, WO_3 – 1,8 тыс. т.

Месторождения жильных и скарновых руд, генетически связанные с герцинскими гранитоидами, сравнительно широко распространены во Франции. Они отличаются незначительными размерами, но нередко высоким содержанием фольфрама в рудах, особенно в скарновых. Общие запасы WO_3 в стране составляют 25 тыс. т при среднем содержании в руде 0,2–1,4%. Годовое ее производство в концентрате составляет примерно 800 т.

Ряд небольших месторождений вольфрама и олова разрабатывается в ГДР и ЧССР. Все они расположены в Рудных горах и генетически связаны с варисскими интрузиями гранитов. Месторождения относятся к касситерит-вольфрамито-кварцевой формации и представлены преимущественно рудными жилами, реже грейзенами и штокверками.

В Южной Америке небольшие месторождения вольфрама, связан-

ные с верхнепалеозойскими гранитами, разрабатываются в Аргентине. Месторождения эти – жильного типа, преимущественно вольфрамито-кварцевой формации. Вместе с вольфрамитом часто присутствуют шеелит и гюбнерит. Мощность разрабатываемых жил самого крупного месторождения Лос Кондорес колеблется от 0,8 до 1 м, среднее содержание WO_3 в них составляет 0,8%.

В Азии с герцинскими кислыми гранитами, широко развитыми в МНР, связаны сравнительно небольшие месторождения кварц-вольфрамитовых и кварц-касситерит-вольфрамитовых руд преимущественно жильного типа.

В СССР среди месторождений оловянных и вольфрамовых руд позднепалеозойского возраста наибольший интерес представляют вольфрамоносные штокверки. В Казахстане рудная минерализация такого типа выражена в форме кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков (в среднем 5–7 мм), образующих густую сеть в ороговикованных песчаниках и сланцах силура. Густота прожилков с глубиной уменьшается, но мощность их увеличивается. Основные полезные компоненты – вольфрамит и шеелит. В подчиненных количествах присутствуют молибденит, висмутин, самородный висмут, пирит. Еще реже встречаются галенит, сфалерит и халькопирит.

В некоторых месторождениях отчетливо проявляется вертикальная зональность, выражающаяся в постепенной смене преимущественно молибденовых руд, развитых на глубоких горизонтах, молибденовольфрамовыми и преимущественно вольфрамовыми в верхних горизонтах. В самой верхней зоне развиты полиметаллические руды. В зоне окисления шеелит в значительной степени разложен, и вольфрам содержится в ферритунгстите, а также входит в состав лимонита и ярозита. Образование месторождений связывается с грубокозалегающими гранитоидами герцинской фазы магматизма.

Многочисленные месторождения вольфрамит-кварцевых жил выявлены в Центральном Казахстане, где они приурочены к герцинским биотитовым порфировидным гранитам. Преобладают мало интересные в практическом отношении мелкие месторождения. По масштабу и качеству руд выделяются два месторождения – *Акчатау* и *Караоба* (рис. 64). Среди жил выделяются кварцевые, кварц-полевошпатовые, кварц-топазовые и слюдяно-кварцевые разности. Они сопровождаются грейзеновыми оторочками, грейзеновыми и штокверковыми зонами. Наряду с вольфрамитом руды содержат молибденит, касситерит, висмутин и пирит. Мощность жил колеблется от 5 см до 1 м, грейзеновых зон – от 1 до 30 м.

В Средней Азии преобладают контактово-метасоматические скарновые месторождения вольфрама, приуроченные в основном к зоне контакта варисских гранитоидных интрузий с карбонатными толщами палеозоя. Среди рудных тел преобладают приконтактовые пластообразные залежи, более редки межпластовые и секущие жилообразные тела.

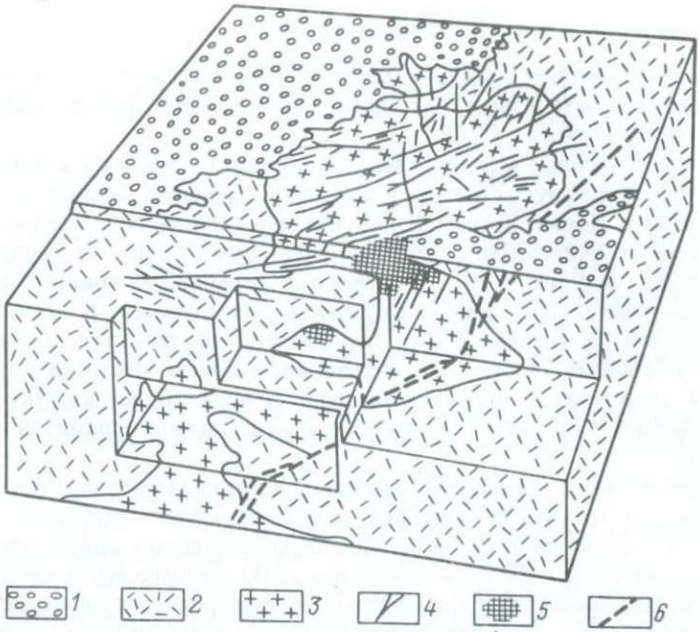


Рис. 64. **Блок-диаграмма месторождения Караоба** *(по А. А. Строганову)*:
1 – наносы; *2* – туфы и лавы; *3* – граниты; *4* – рудные жилы; *5* – грейзеновое рудное тело; *6* – разрывные нарушения

Шеелитоносные скарны представлены преимущественно гранатовыми, гранат-пироксеновыми и пироксеновыми разностями. Из гипогенных рудных минералов установлены шеелит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, касситерит; промышленное значение обычно имеет шеелит и реже молибденит.

Жильные месторождения кварц-вольфрамитового типа, а также штокверковая вольфрамитовая минерализация, генетически и пространственно связанные с герцинскими порфировидными гранитами, известны в Алтайском крае.

Позднепалеозойским определен возраст *Кти-Тебердинского* месторождения на Северном Кавказе.

Оловянная минерализация Средней Азии, проявленная в верхнем палеозое, представлена почти всеми генетическими типами, но наибольший интерес представляют месторождения касситерит-кварцевой и касситерит-силикатной формации. Рудные поля последних сложены терригенно-карбонатными толщами, прорванными гранитоидами верхнего палеозоя, с которыми ассоциирует оловянное и редкометалльное оруденение.

Заслуживающие внимания месторождения молибдена позднепалеозойского возраста известны только в трех районах земного шара – в Австралии, Марокко и СССР.

Многочисленные месторождения молибдена А в с т р а л и и сосредоточены преимущественно в восточных районах страны, в штатах Квинсленд и Новый Южный Уэльс, где они генетически связаны с герцинскими гранитоидами, интрудировавшими толщу метаморфических пород силурийского, девонского и пермо-карбонового возраста. Устанавливаются две фазы интрузивной деятельности. В первой фазе преобладали биотитовые и амфибол-биотитовые граниты и гранодиориты, с которыми связаны молибдено-висмутовые месторождения. Во второй интрузивной фазе преобладали граниты более кислого состава, дериваты которых образовали касситерит-вольфрамитовое оруденение.

Рудные тела, сложенные кварцем, располагаются в эндоконтактовой части гранитных массивов и обычно имеют трубчатую форму (1–2 м в поперечнике), обусловленную, вероятно, приуроченностью их к пересечению двух систем трещин. Из рудных минералов в них преобладают молибденит и висмутин, реже встречаются пирит, вольфрамит, арсенопирит, пирротин и очень редко касситерит, теллуриды висмута, золото и серебро. Среднее содержание молибдена в рудах составило 0,5–1%. Месторождения отличались небольшими размерами; их общие запасы, по-видимому, не превышали 10 тыс. т. Они разрабатывались с начала текущего столетия, когда Австралия занимала первое место в мире по добыче молибдена, давая около 60% его мирового производства, но за время эксплуатации суммарная добыча молибдена едва ли достигла 2000 т.

В М а р о к к о в прошлом разрабатывалось месторождение молибденоносных скарнов, приуроченных к трем прослоям известняков в докембрийских метаморфических сланцах, прорванных герцинскими гранитоидами. Рудные залежи расположены в некотором удалении от контакта известняков с гранитами и приурочены к зонам разломов и брекчирования. Они состоят в основном из граната и везувиана, реже встречаются диопсид и волластонит. Рудные минералы представлены молибденитом, в меньшем количестве присутствуют халькопирит и сфалерит. Среденее содержание молибдена в руде оценивалось примерно в 0,2–0,3%, а общие запасы его – в 4000 т.

В С С С Р среди широко распространенных в Центральном Казахстане проявлений молибденового оруденения наиболее многочисленны месторождения кварц-вольфрамит-грейзеновой формации, в которых молибденит присутствует в качестве одного из главных рудообразующих минералов. Они представлены кварцевыми жилами в позднегерцинских лейкократовых гранитах или развитыми в их экзоконтактах зонами штокверковых руд в липаритовых порфирах, песчаниках и алевро-

литах. В промышленном отношении более интересны штокверковые месторождения кварц-молибденит-серицитовой формации. Пространственно и генетически они связаны с крупными плутонами лейкократовых гранитов Центрального Казахстана. Рудная минерализация локализуется обычно в экзоконтактовой зоне, над куполовидными выступами поверхности интрузива и реже прослеживается в зоне эндоконтакта. Вмещающими породами служат в различной степени измененные (окварцованные, ороговикованные, серицитизированные, реже хлоритизированные и эпидотизированные) песчаники, сланцы, эффузивы и туфы. Иногда наиболее интенсивное оруденение приурочивается к дайкам фельзит-порфиров, прорывающих рудоносную толщу. Оруденение при этом сопровождается грейзенизацией, хлоритизацией и беризитизацией даек.

Штокверки состоят из кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков с молибденитом, шеелитом, реже вольфрамитом, сульфидами железа, свинца, цинка и меди. К завершающей стадии минерализации относится образование кальцит-цеолитовых прожилков.

Представителем подобных месторождений является *Коктенкольское,* расположенное в пределах краевого вулканического пояса, разделяющего области каледонской и герцинской складчатости. Рудное поле месторождения сложено средне-верхнедевонскими вулканогенными и осадочными породами, прорванными лейкократовыми гранитами, вскрытыми современным эрозионным срезом. Около гранитов вмещающие их алюмосиликатные породы ороговикованы, интенсивно биотитизированы и фельдшпатизированы, а карбонатные породы скарнированы.

Рудные штокверки залегают над выступом гранитов в породах эффузивно-осадочной толщи. Руды лишь местами выходят на поверхность или распогагаются вблизи ее. Часто их верхняя граница опускается на 200 м и более. Выделяются два штокверка – северный и южный. Основные промышленные запасы сосредоточены на Южном участке. Промышленное оруденение локализуется в основном в интенсивно измененных приконтактовым метаморфизмом эффузивах и лишь частично заходит в апикальный выступ гранитов.

Молибденовая и попутные вольфрамовая, медная и висмутовая минерализации локализуются в кварцевых, кварц-полевошпатовых и полевошпатовых прожилках. Мощность их колеблется от 1–2 мм до 10–15 см, преобладающая 0,5–2,0 см. Рудные минералы представлены молибденитом, вольфрамитом, пиритом, халькопиритом, висмутином, магнетитом, гюбнеритом и др. Наибольший вертикальный размах рудной минерализации на флангах месторождения составляет 800–900 м, при этом на экзоконтактовую зону приходится 700–800 м.

В Центральном Казахстане и в Средней Азии известны также месторождения кварц-молибденит-халькопиритовой формации, в которых основным полезным компонентом является медь.

Возраст многих месторождений ртути достоверно не установлен. В частности, продолжает оставаться спорным вопрос о времени образования самого крупного в мире месторождения *Альмаден*, расположенного в Испании, в провинции Сьюдад-Реаль. По мнению многих исследователей, это месторождение генетически связано с герцинскими гранитоидами, широко развитыми в смежных районах, но у ряда геологов это предположение вызывает сомнение, главным образом потому, что остальные ртутные месторождения Средиземноморской зоны относятся к кайнозойской эпохе рудообразования.

Район месторождения Альмаден сложен отложениями силура и девона – сланцами, песчаниками, кварцитами, известняками и диабазовыми туфами, интенсивно смятыми в крутые и сложные складки, разорванными многочисленными нарушениями (рис. 65). Местами эти породы прорваны дайками сильно измененных диабазов и кварцевых порфиров. Оруденение приурочено к трем крутопадающим пластам кварцитов нижнего силура, разделенным пластами граптолитовых углистых сланцев мощностью около 50 м. Протяженность рудных пластов по простиранию колеблется от 180 до 350 м, а промышленное оруденение в них установлено на глубине более 700 м. На востоке они ограничены надвигом, послужившим, по мнению исследователей, тектоническим перекрытием, под которым концентрировалась ртутная минерализация.

Наиболее крупные запасы и самое богатое оруденение заключены в южном пласте месторождения, где ртутная минерализация выражена в форме сплошных прослойков и значительных скоплений киновари, расположенных преимущественно параллельно плоскостям напластования в окварцованных песчаниках. Мощность пласта колеблется от 10 до 14 м, содержание ртути в нем иногда достигает 15–20%. В двух других рудных пластах киноварь в основном выполняет трещины и промежутки между зернами кварца и проявляется главным образом в форме вкрапленности и прожилков. Мощность этих пластов колеблется от 7 до 12 м, содержание ртути в них не превышает 2–2,5%.

Среднее содержание ртути в рудах, добытых на месторождении с 1900 по 1932 г., составляло 5,5%. В последние годы содержание ртути колеблется от 0,9 до 6%, а в товарных рудах снизилось до 1–2%. Кроме кварца, руды содержат в небольшом количестве кальцит, доломит, барит, цеолит из группы натролита и битумы. Из рудных минералов постоянно присутствует пирит и в качестве незначительной примеси – метациннабарит и самородная ртуть.

С 1499 г. на месторождении Альмаден добыто около 250 тыс. т ртути. Несмотря на столь длительный срок эксплуатации, оставшиеся в месторождении общие запасы ртути оцениваются в 250 тыс. т, из которых около 50 тыс. т составляют достоверные запасы.

В 1978 г. вблизи месторождения Альмаден выявлено более богатое месторождение ртути *Эль-Энтредичо*, сведения о запасах которого

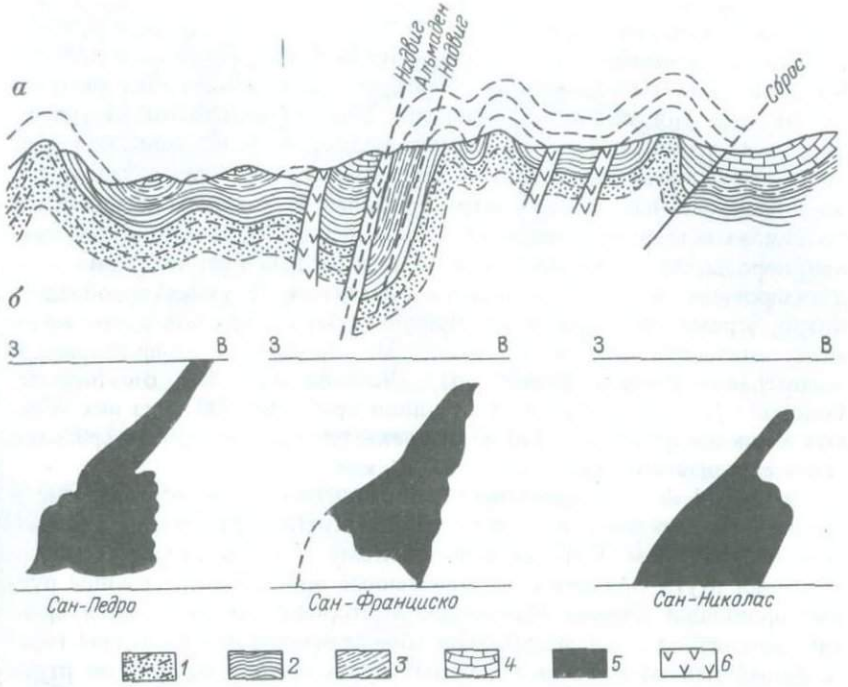


Рис. 65. Геологические разрезы месторождения Альмаден *(по Э. Лиллею)*:

а – геологический разрез района месторождения; *б* – разрезы отдельных рудных тел. *1* – песчаники и кварциты; *2* – глинистые сланцы; *3* – известковистые сланцы; *4* – известняки; *5* – богатая руда; *6* – изверженные породы

отсутствуют. Разработка его началась открытым способом в 1980 г. и было добыто 276 т ртути при ожидаемой годовой производительности 1035 т. Судя по опубликованным данным, через несколько лет основное производство ртути в Испании будет сосредоточено на этом месторождении. Рудник Альмаден со временем будет закрыт. В Испании известен и ряд других, более мелких месторождений ртути, которые эпизодически (в годы благоприятной конъюнктуры) эксплуатировались, но добыча на них не превышала первых десятков тонн. В последнее время добыча ртути в Испании находилась на уровне 1650 т.

Предположительно к позднепалеозойскому возрасту относятся некоторые месторождения сурьмы в Испании. В одних месторождениях антимонит в промышленных концентрациях присутствует в полиметаллических рудах в ассоциации с серебросодержащим галенитом и извлекается попутно, в других он ассоциирует с арсенопиритом, в третьих является основным рудообразующим минералом. Общие запасы сурьмы оцениваются в 30 тыс. т; производство ее (в концентрате) в 1980 г. составило 620 т.

К позднепалеозойской эпохе рудообразования относятся многочисленные месторождения ртути в ФРГ, которые в прошлом (XVI–XVII вв.) занимали значительный удельный вес в мировой добыче. Бóльшая часть месторождений сосредоточена в Пфальцском ртутном районе, где они генетически связаны с дизъюнктивными нарушениями и магматической деятельностью заальской фазы варисской орогении. Оруденение проявлено в форме жил или минерализованных зон, приуроченных к сбросовым трещинам и участкам интенсивной трещиноватости в песчаниках карбона и штоках порфиритов. Вмещающие породы, особенно порфириты, вблизи рудных тел интенсивно серицитизированы и часто обогащены гематитом. В рудах преобладает кварц; кроме киновари, в них присутствуют самородная ртуть, каломель, амальгама серебра и стибнит. Месторождения, по-видимому, в значительной степени выработаны; сведения о запасах отсутствуют. Годовое производство ртути составляло примерно 100 т, из них бóльшая часть (в 1980 г. – 130 т) извлекается попутно при переработке полиметаллических руд.

В США большинство месторождений ртути сосредоточено в пределах Тихоокеанского пояса, где они генетически связаны с третичным магматизмом. К позднепалеозойскому возрасту относятся месторождения ртути Арканзаса, расположенные вдоль южной границы рудной провинции долины Миссисипи. Месторождения отличаются сравнительно небольшими масштабами минерализации и в последние годы не разрабатываются. Ранее в добытых рудах среднее содержание ртути составило 0,5%.

В Канаде с герцинским магматизмом связан ряд небольших месторождений сурьмы в провинции Квебек.

В СССР к верхнему палеозою относятся бóльшая часть месторождений ртути и сурьмы Средней Азии, где ртутная минерализация проявилась также в послеюрское и послемеловое время.

Размещение верхнепалеозойских ртутных, сурьмяно-ртутных и сурьмяных месторождений контролируется крупными региональными разломами. Оруденение связано с зонами дробления, особенно на контактах рудовмещающих известняковых толщ среднего карбона с надвинутыми на них экранирующими сланцево-песчаниковыми толщами силура и девона (рис. 66 и 67). Рудовмещающими породами служат преимущественно окварцованные известняки (джаспероиды) и сланцы, меньше – терригенные образования. Основными рудовыводящими каналами считаются зоны продольных и диагональных нарушений, а рудолокализующими структурами – системы мелких трещин, образованных как при формировании складчатых структур, так и при разрывных нарушениях. Наиболее благоприятными для рудолокализации структурами являются куполовидные брахиантиклинальные вздутия в антиклинальных складках. Повсеместно проявляется тесная ассоциация ртути с сурьмой. Даже в пределах одного и того же рудного поля развиты ртутные, ртутно-сурьмяные, ртутно-сурьмяно-флюоритовые и ртутно-сурьмяно-мышьяковые типы руд. Особенностью ряда месторождений является зональность оруденения.

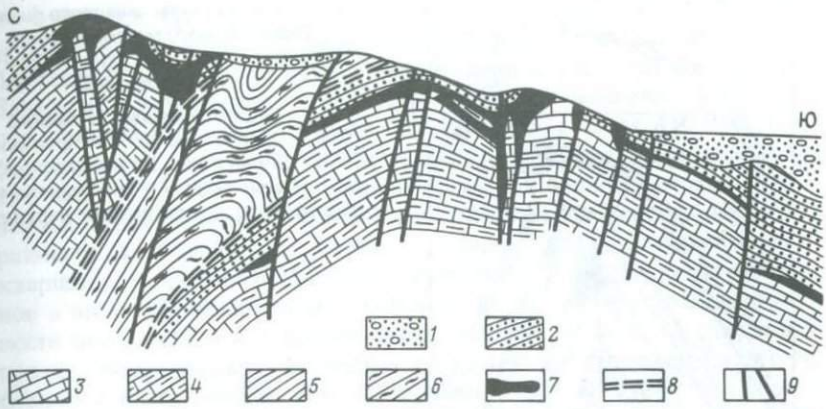


Рис. 66. Структура Хайдарканского рудного поля *(по Н. А. Никифорову)* :

1 – четвертичные отложения; *2* – песчаники, сланцы, конгломераты среднего карбона; *3* – известняки среднего карбона; *4* – известняки нижнего карбона; *5* – песчаники и сланцы нижнего девона; *6* – сланцы и песчаники силура; *7* – джаспероиды; *8* – надвиги; *9* – сбросы, сбросо-сдвиги

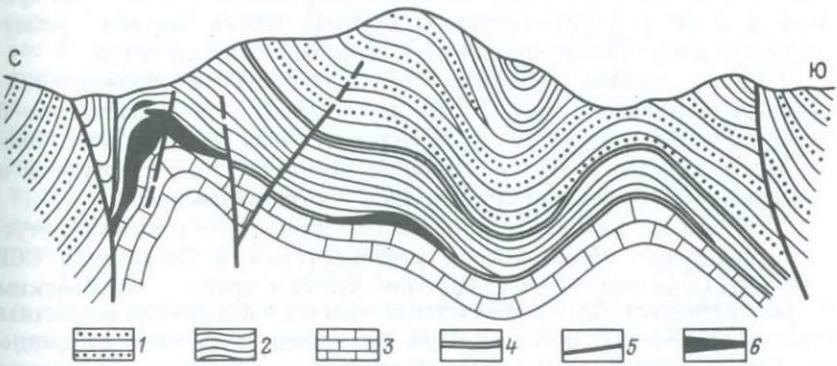


Рис. 67. Разрез месторождения Кадамджай:

1 – песчано-сланцевые отложения силура; *2* – глинистые сланцы с прослоями песчаников и гравелитов нижнего девона; *3* – массивные известняки нижнего карбона; 4 – надвиги; 5 – разломы; 6 – роговиково-джаспероидные брекчии с оруденением

Сурьмяно-ртутные рудные тела, как правило, локализуются вблизи рудопроводящих каналов и сложены роговиково-джаспероидно-кварцевыми, джаспероидно-кварцево-флюоритовыми и роговиково-сланцево-кварцевыми брекчиями с антимонитом, флюоритом и киноварью. Ртутные рудные тела располагаются, напротив, не ближе 40–50 м от рудопроводящих каналов, зачастую уходя на многие сотни метров от них. Сложены они обычно джаспероидно-кварцевыми, известняково-

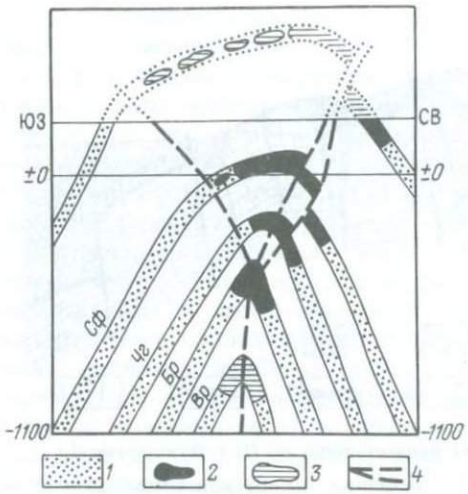


Рис. 68. **Структуры западного фланга Никитовского месторождения** *(по Ф. Ф. Заря, Н. Я. Ольховскому, Л. И. Григорьевой)* :

1 – рудовмещающие песчаники (Сф – софиевские, Чг – чегарникские, Бр – бормутские, Вр – веровские) ; *2* – рудные тела; *3* – предполагаемые рудные тела; *4* – разрывные нарушения

кальцитовыми, реже сланцево-кальцитовыми и роговиково-кварцево-кальцитовыми брекчиями с киноварью.

Характер оруденения весьма неравномерный. В рудных залежах пластообразного типа рудные минералы встречаются в виде гнезд, прожилков и мелкой вкрапленности. Богатые залежи развиты преимущественно в ядрах небольших сжатых антиклинальных структур.

Главные рудные минералы среднеазиатских месторождений – киноварь, антимонит, второстепенные – реальгар и аурипигмент. В незначительном количестве руды содержат медь, свинец, цинк, олово, серебро, селен и таллий. Наиболее вероятный возраст ртутных и сурьмяных месторождений Средней Азии – позднепермский.

Спорным до настоящего времени остается вопрос о возрасте ртутного оруденения *Никитовского* месторождения в Украинской ССР (рис. 68). Одни считают его позднепалеозойским, другие – мезозойским и даже третичным. Достоверно устанавливается лишь нижняя возрастная граница оруденения, поскольку оно приурочено к песчаникам среднего карбона, залегающим в осевой части Главной Донецкой антиклинали. Здесь проявились две формы оруденения – пластообразная и жильная. Пластообразный тип связан с зонами дробления, в пределах которых рудные залежи имеют пластообразную и линзообразную форму; киноварь в них распределена в виде гнезд, прожилков и вкрапленности. Жилы приурочены главным образом к поперечным разломам. Обычно киноварь ассоциирует со стибнитом, антимонитом и диккитом.

БЕРИЛЛИЙ, ЛИТИЙ, ТАНТАЛ, НИОБИЙ

К позднему палеозою относится формирование редкометалльных пегматитов Аппалачской складчатой зоны США, включающей месторождения штатов Мэн, Массачусетс, Коннектикут, Мэриленд, Виргиния, Северная и Южная Каролина.

Наиболее крупные месторождения, в которых заключены значительные запасы лития и бóльшая часть ресурсов мелкокристаллического бериллия США, сосредоточены в южной части штата Северная Каролина. Запасы оксида бериллия в этих месторождениях оцениваются в 120 тыс. т при среднем содержании в руде 0,05%, а запасы лития 450 тыс. т при содержании в руде 0,6–0,7%. Прогнозные ресурсы лития оцениваются до 3–5 млн. т. Здесь в полосе длиной 45 км и шириной 3–4 км насчитываются сотни альбитизированных пегматитовых тел различной формы и размеров, залегающих среди гнейсов, кристаллических сланцев и реже в кварцевых монцонитах. Наиболее крупное пегматитовое тело, разведанное в этом районе, достигает 1000 м в длину при максимальной мощности около 120 м и в среднем содержит 25% кварца, 4% слюды и 5% прочих минералов, среди которых постоянно присутствуют касситерит, берилл и иногда амблигонит. Содержание мелковкрапленного берилла колеблется от 0,3 до 1,5%. Кроме сподумена извлекаются берилл, танталит, колумбит, мусковит, монацит. Особенно широко распространены сподумен- и лепидолитсодержащие разности. Поля этих пегматитов занимают значительные площади (до 100 км^2) и заключают десятки и даже сотни продуктивных жил. Абсолютный возраст пегматитов Аппалачских гор определяется в 300–200 млн. лет.

Несколько более древними (450–350 млн. лет) представляются редкометалльные пегматиты северной части Аппалачских гор. Удельный вес их в общих ресурсах бериллия и лития страны невелик. Пегматиты представлены весьма разнообразными типами, от слабо альбитизированных и берилловых до нацело замещенных лепидолитовых. В штате Нью-Гэмпшир широко распространены блоковые мусковит-микроклиновые и замещенные мусковит-альбитовые пегматиты. В других районах преобладают лепидолитсодержащие пегматиты. В пегматитах некоторых месторождений наряду с литиевыми минералами в заметных количествах присутствует поллуцит.

Крупные поля пегматитов открыты в последнее время в К а н а д е, в юго-западной части Новой Шотландии. Район сложен разнообразными кристаллическими сланцами и кварцитами ордовика, прорванными девонскими гранитоидами. Бериллиевые разности пегматитов приурочены преимущественно к мусковитовым гранитам и располагаются либо в самих массивах, либо в кварцитах и реже в кристаллических сланцах, вблизи их контакта с гранитами. Породообразующие минералы – кварц, плагиоклаз, пертит и мусковит. Отчетливо проявляется зональность пегматитов, причем берилл обычно приурочен к кварцевому ядру. Присутствуют также турмалины и гранат.

Редкометалльные пегматиты, абсолютный возраст которых определен в 220–280 млн. лет, сравнительно широко распространены в различных районах Западной Европы – во Франции, Португалии и Испании. Известны они также в С С С Р. Тот же возраст определен для пегматитов Монгольского Алтая и северной части Аппалачских гор в Северной Америке. Ряд исследователей относят к позднему палеозою формирование редкометалльных пегматитов Б р а з и л и и, которые, по их мнению, связаны с герцинскими гранитами.

В Западной Европе крепнейшее месторождение редкометалльных пегматитов *Лялин* расположено в Испании, в центральной Галисии. Район месторождения сложен кембрийскими кристаллическими сланцами и гнейсами, прорванными двумя массивами двуслюдистых гранитов, с которыми генетически связаны многочисленные пегматитовые и аплитовые жилы.

По минеральному составу выделяются два типа пегматитов. К одному из них относятся пегматиты, сложенные кварцем, ортоклазом, альбитом и микроклином с редкой примесью берилла, турмалина и арсенопирита. Пегматиты другого типа, значительно менее распространенного, состоят в основном из сподумена, альбита и мусковита.

Наиболее значительная сподуменовая пегматитовая жила круто сечет кембрийские гранат-ставролитовые сланцы и прослеживается по простиранию на 5 км. Практический интерес представляют 4 км этой жилы, в пределах которых мощность ее изменяется от 4 до 8 м; среднее содержание сподумена составляет 20%. Сподумен присутствует в пегматите в форме отдельных кристаллов размером до 30 х 4 см или образует гнездообразные скопления и параллельные зальбандам полосы, состоящие из мелких игольчатых кристаллов. Скопления сподумена обычно концентрируются вблизи зальбандов. Среднее содержание LiO_2 в пегматите составляет 1,2%, а запасы его до глубины 200 м оценивались в 200 тыс. т.

К верхнепалеозойским относится также месторождение лития *Касерес* пневматолито-гидротермального типа. Оно представлено серией маломощных (0,1 – 0,4 м, редко до 1,2 м) кварцевых жил с касситеритом и амблигонитом, залегающих в сланцах и кварцитах силура. Жилы отличаются симметричным строением. Вдоль зальбандов развиты пирофиллитовые оторочки, к контакту которых с кварцем приурочены гнезда касситерита со слюдой. Амблигонит, часто совместно с касситеритом, развит в центральной кварцевой части жил. Разработка месторождения осуществлялась в небольших масштабах. Годовая добыча амблигонита составляла около 40 т.

Многочисленные месторождения редкометалльных пегматитов известны во Франции, в ряде районов Центрального плато. Бо́льшая часть их сосредоточена в горах Амбазак в Верхней Вьенне, где линзы и жилы натро-литиевых пегматитов приурочены преимущественно к зоне контакта двуслюдяных гранулитов с гнейсами. Полоса распространения пегматитов шириной примерно 300 м протягивается на 6000 м. Жильная форма характерна для пегматитов, развитых в гранулитах, линзовидная – для пегматитов, залегающих в гнейсах. Пегматитовые тела отличаются резкими контактами и отчетливо выраженной зональностью.

Пегматиты сложены микроклин-пертитом, альбитом, кварцем и лепидолитом. Присутствуют дамурит, образовавшийся, по-видимому, за счет микроклина, апатит, малакон, касситерит и колумбит-танталит. В некоторых жилах встречаются трифилит, амблигонит и берилл.

Жилы пегматитов характеризуются небольшой мощностью, редко превышающей 1 м, но по простиранию в ряде случаев прослеживаются на 1500 м и более. Содержание оксида лития в разрабатываемых жилах и линзах колеблется от 1 до 3–4%.

За последнее время в пределах Центрального плато в связи с поисками урана открыт ряд новых пегматитовых полей.

В департаменте Алье недавно выявлено месторождение *Эшассьер*, приуроченное к одноименному небольшому массиву зонального строения. Ядро его сложено порфировидными двуслюдяными гранитами, а купольная часть представлена гранулитом альбит-лепидолитового состава и занимает площадь 300–400 м. Рудные минералы гранулита представлены касситеритом, бериллом и гердеритом (бериллиевый фосфат кальция), а местами проявлена и тантало-наобиевая минерализация. Литиевая минерализация локализуется вокруг наиболее альбитизированных гранулитовых зон, а бериллиевая, также связанная с альбитизацией, представлена зоной гердеритового апогранита, мощностью 2–3 м, содержащего 180 г/т бериллия. Руды легко обогащаются и могут быть отработаны открытым способом.

ЗОЛОТО

Верхнепалеозойские месторождения золота распространены шире, чем нижнепалеозойские, но удельный вес их в мировых запасах и добыче также весьма незначителен. В большинстве случаев рудоносны девонские гранитоиды, интрузии которых относятся к завершающим этапам каледонской складчатости.

С девонскими гранитами генетически связана золотоносность *Аппалачского* рудного пояса Северной Америки, протягивающегося от Новой Шотландии в Канаде до штатов Джорджия и Алабама в США. В пределах этого пояса известны многочисленные, но сравнительно небольшие коренные и связанные с ними россыпные месторождения золота, в значительной части (особенно на территории США) уже выработанные.

В Канаде коренные месторождения, распространенные в южной части провинции Квебек и Новая Шотландия, представлены седловидными и трещинными золотосодержащими кварцевыми жилами, залегающими среди докембрийских кристаллических сланцев и нижнепалеозойских кварцитов. За время эксплуатации здесь добыто около 50 т золота.

В месторождениях США преобладают линзообразнае жилы и столбообразные залежи, приуроченные преимущественно к докембрийским и нижнепалеозойским метаморфическим породам и гранитам, реже встречаются метасоматические залежи в известняках, которые состоят из кварца, сопровождаемого карбонатами, апатитом, хлоритом, альбитом, турмалином и гранатом.

Кроме самородного золота, руды верхнепалеозойских месторождений содержат разнообразные сульфиды и в качестве незначительной

примеси теллуриды, энаргит и тетрадимит. Содержание золота в разрабатываемых рудах колеблется от 4 до 10 г/т. По данным А. М. Бэтмана, в США, пределах Аппалачского рудного пояса, с 1880 г. было добыто золота на 30 млн. долларов. В настоящее время здесь разрабатываются в небольших масштабах несколько месторождений.

В Южной Америке с девонскими гранитоидами генетически связаны небольшие месторождения золота в Боливии (Анды) и Аргентине (Пампа), но значение их по сравнению с месторождениями кайнозойской эпохи рудообразования невелико.

Многочисленные месторождения золота, генетически связанные с гранитными интрузиями девонского или силуро-девонского возраста, разрабатываются в Австралии, в штатах Виктория и Новый Южный Уэльс. Наиболее крупные из них (*Бендиго, Балларат, Дейлсфорд, Кастлмен*) расположены в штате Виктория, где они приурочены к собранным в узкие складки ордовикским сланцам и песчаникам. Рудные тела Бендиго обычно имеют форму седловидных, реже трещинных жил, состоящих из кварца с небольшим количеством анкерита, кальцита, альбита, пирита, арсенопирита, различных других сульфидов и золота. Содержание последнего в разрабатываемых рудах колеблется от 5 до 25 г/т. Глубина выработок превышает 1400 м. В пределах рудного поля Балларат развиты в основном трещинные кварцевые жилы. Наиболее богатое оруденение в форме гнездообразных скоплений приурочено к перечислению жил с тонкими и пиритизированными прослойками сланцев.

Судя по литературным данным, промышленные месторождения золота в штате Квинсленд сформированы в несколько более позднее время и связаны, по-видимому, с магматической деятельностью каменноугольного периода. Здесь в самом крупном месторождении *Чартерс Тауэрс*, целиком сложенном гранодиоритами, оруденение представлено кварц-кальцитовыми жилами, выполняющими сбросовые трещины. Из рудных минералов жилы, кроме золота, содержат пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит и сфалерит. Среднее содержание золота в них составляет 15 г/т. Такие богатые руды распространены на площади 7,5 км^2.

В Квинсленде к этому возрасту относятся золотосодержащие медноколчеданные руды месторождения *Маут Морган*, в пределах рудного поля которого дорудные биотитовые граниты относятся к верхнему девону, послерудные дайки – к верхней перми.

В Азии герцинской магматической деятельностью обусловлено образование многочисленных проявлений золотоносности в пределах Монгольского Алтая.

В СССР с гранитоидами девонского возраста связано золотое оруденение миасской формации на Урале. На Среднем Урале месторождения золота в основном средне- и верхнекарбоновые.

К позднепалеозойскому возрасту относятся крупнейшие в мире месторождения апатита Хибинских тундр в СССР и обширный фосфоритоносный бассейн западных штатов в США. Сравнительно небольшие месторождения фосфоритов этого возраста известны в Западной Европе, преимущественно в Испании.

Хибинские месторождения апатит-нефелиновых руд в СССР, расположенные в центральной части Кольского полуострова, приурочены к многофазной интрузии щелочных пород, средний абсолютный возраст которых, по данным В. И. Кононовой, определяется в 400–395 млн. лет. Интрузивный массив, имеющий в плане эллипсоидальную форму, залегает на контакте гнейсов архея и осадочно-эффузивной толщи протерозоя (рис. 69).

Выделяются несколько интрузивных фаз, каждой из которых соответствует определенный комплекс щелочных пород. Всего здесь насчитывается до 30 разновидностей нефелинсодержащих пород – от лейкократовых фойяитов до уртитов и мельтейгитов. Основными породообразующими минералами в них являются полевой штат, нефелин и пироксены, в переменных, но обычно незначительных количествах присутствуют апатит, титаномагнетит, лампрофиллит и эвдиалит. Промышленные залежи апатит-нефелиновых руд приурочены к комплексу пород, слагающих юго-восточную часть массива. Они залегают согласно с вмещающими их породами и падают под углом 24–32°. В висячем боку залежей обычно находятся слюдяные нефелиновые и эгириновые сиениты, а в лежачем – породы ийолит-уртитового ряда. Главные минералы апатит-нефелиновых руд – апатит, нефелин, эгирин, полевой шпат, сфен и титаномагнетит.

По характеру минерализации и структуре в залежах выделяются две зоны. Верхняя зона сложена пятнистыми и полосчато-пятнистыми текстурными разновидностями руд и характеризуется сравнительно богатым содержанием фосфора и низким – глинозема. Нижняя зона беднее фосфором и богаче глиноземом. Она представлена главным образом линзовидно-полосчатыми, сетчатыми и блоковыми текстурными разновидностями руд.

При подсчете балансовых запасов принято бортовое содержание P_2O_5 для оконтуривания руд, разрабатываемых открытым способом, – 6% и подземным способом – 8%; соответственно, минимальное содержание в блоке – 11 и 13,5%. К забалансовым запасам отнесены руды, содержащие P_2O_5 в блоках от 4 до 6% для открытой добычи и от 4 до 8% – для подземной. Минимальная мощность залежей, включаемых в контур балансовых запасов, – 10 м. Подсчитанные на начало 1980 г. запасы руд составляют 3146 млн. т (513 млн. т P_2O_5). Прогнозные запасы руд оцениваются в 5700 млн. т. Разведанные месторождения могут обеспечить годовую добычу руд порядка 38–40 млн. т. В выпускаемых флотационных концентратах (17 млн. т в год) содержание P_2O_5 состовляет 39,4%. Они являются основным сырьем для производства удобрений на предприятиях туковой промышленности СССР.

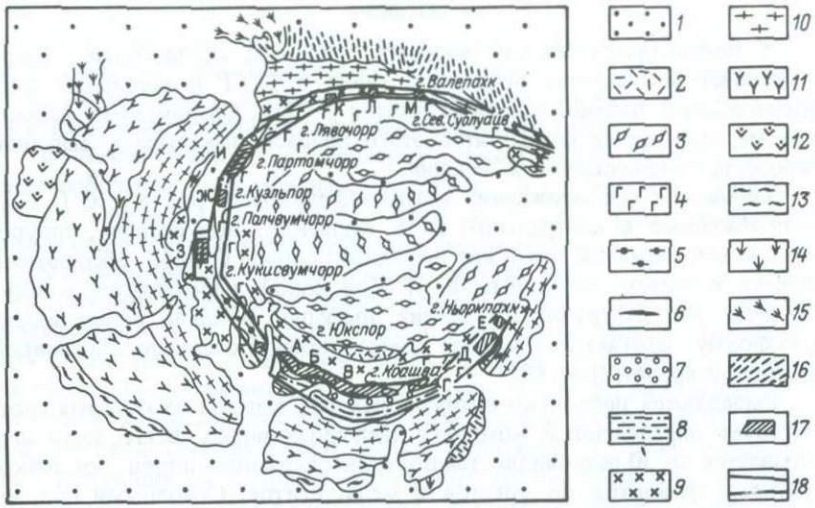


Рис. 69. **Геологическая карта Хибинского массива** *(по С. И. Зак и др.)*:

1 – четвертичные отложения; *2* – измененные нефелиновые сиениты; *3* – фойяиты; *4* – среднезернистые нефелиновые сиениты; *5* – малиньиты, луявриты, *полевошпатовые ийолиты и ювиты*; *6* – апатито-нефелиновые породы; *7* – уртиты; *8* – ийолиты и уртиты трахитоидные; *9* – рисчорриты; *10* – хибиниты трахитоидные; *11* – хибиниты массивные; *12* – диабазы и габбро-диабазы; *13* – зеленые сланцы, туфобрекчии и глинистые сланцы; *14* – *метадиабазы, туфогенные сланцы* и кварциты; *15* – диориты; *16* – биотитовые гнейсы; *17* – апатитовые месторождения и участки с апатитовым рудопроявлением: А – Кукисвумчоррское, Б – Юкспорское; В – Расвумчоррское, Г – Коашвинское, Д – Ньюркпахк-Суолуайвское, Е – Коашкарский участок, Ж – Куэльпорское; З – Полчвумчоррское, И – Партомчорр-Лявойокское, К – Лявочоррский участок, Л – Валепахкский участок, М – Калиокский участок; *18* – перспективные площади на поиски апатита

Аналогичные месторождения апатита по качеству руд и масштабу оруденения не известны.

Производство апатитовых концентратов попутно осуществляется также на *Ковдорском* железорудном месторождении (на Кольском полуострове), по-видимому, одновозрастном с Хибинскими месторождениями. Среднее содержание P_2O_5 в рудах составляет 7,04%. Общие запасы в пересчете на P_2O_5 составляют 42 *млн.* т. *Годовая* добыча около 600 тыс. т. Промышленные концентрации апатита характерны *также для забалансовых железных руд и вмещающих* апатит-форстеритовых пород.

К позднему девону относится формирование комплекса севитов Сокли в Финляндии, содержащих 5–10% апатита, а также дайка якупирангитов Кодал в Норвегии, содержащих 17–18% апатита.

В СССР известны также месторождения фосфоритов позднепалеозойского возраста. Они отличаются небольшими размерами, и практи-

ческое значение их невелико. К ним, например, относятся фосфоритоносные горизонты, связанные с процессами континентального выветривания, в артинских отложениях западного склона Урала. Фосфориты выполняют углубления и карманы на размытой поверхности слабо фосфатизированных брекчиевидных известняков и характеризуются весьма изменчивой мощностью: от 1 до 70 м (в среднем 8 м). Преобладают рыхлые глинистые разности фосфоритов, но местами встречаются плотные глыбы и обломки пористых, ячеистых и окремненных фосфоритов. Среднее содержание P_2O_5 в рыхлых землистых фосфоритах 24–31%, в глинистых 14–35%.

Верхнепалеозойский фосфоритоносный бассейн США площадью около 350 тыс. км^2 расположен в предгорьях Скалистых гор, охватывает западные штаты (Юта, Айдахо, Вайоминг, Монтана) и протягивается далее на север, в Канаду. Фосфориты бассейна приурочены к отложениям нижнего карбона (формация миссисипи) и перми (формация фосфориа). Нижнекарбоновые фосфориты, развитые преимущественно в штате Юта, представлены фосфатизированными сланцами, залегающими среди карбонатных пород. Они невысокого качества и не имеют большого промышленного значения. Месторождения формации фосфориа, наоборот, отличаются высоким качеством руд (среднее содержание P_2O_5 в разрабатываемых пластах 30–32%) и заключают основные промышленные запасы этого бассейна.

Формация фосфориа сложена интенсивно дислоцированными фосфатизированными песчаниками, сланцами и известняками. В ее нижней сланцевой части заключено от одного до трех фосфоритовых пластов суммарной мощностью от 3 до 9 м. Они состоят из фосфоритовых оолитовых зерен (от микроскопических до 5 мм) и фосфатного цемента. Содержание в них P_2O_5 составляет 27–36%, полуторных оксидов 1–4%; CaO 44–52%; F 2,9–6,9%; SiO_2 5–17%; Cr_2O_3 0,08–0,23%; V_2O_5 0,11–0,25%. Кроме того, в фосфоритах содержится уран. Высокое качество фосфоритов позволяет применять их без обогащения.

Пермские фосфориты западных штатов относятся к типичным морским геосинклинальным образования. Для последних характерны наличие мощных фосфатизированных толщ, пластовая форма линейно вытянутых на большие пространства рудных тел, высокое содержание фосфора, парагенезис с кремнисто-карбонатными породами, сложное залегание вследствие дизъюнктивных нарушений (рис. 70).

В юго-западной части штата Монтана в свите фосфориа выделяются две фосфоритоносные пачки мощностью 4,5 и 22,5 м, в которых общие запасы P_2O_5 оцениваются примерно в 8 млрд. т. Сведения о запасах фосфоритов в других районах западных штатов отсутствуют.

Общие прогнозные запасы фосфоритовых формаций в районе Скалистых гор оцениваются в 1,7 трлн. т. Удельный вес в общей добыче фосфоритов в США около 15%. Основную массу добываемых фосфоритов дают миоценовые месторождения Флориды и Северной Каролины.

В Западной Европе промышленными месторождениями фосфат-

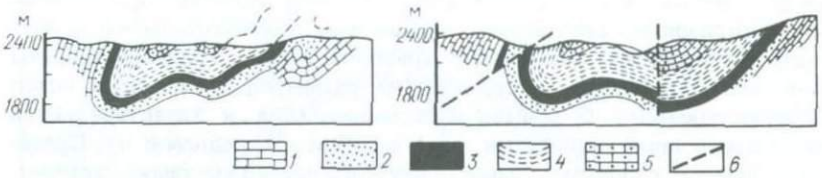


Рис. 70. Строение фосфоритовой формации в штате Вайоминг (США):

1 – известняки карбона; *2* – песчаники; *3* – фосфоритный горизонт; *4* – сланцы; *5* – известняки перми; *6* – сброс

ного сырья позднепалеозойского возраста обладает только Испания. Они расположены в области Эстремадура (районы Касерес, Толедо, Логросан) и представлены кварцево-апатитовыми жилами в метаморфических сланцах и известняках палеозоя, прорванных герцинскими гранитами. По простиранию жилы достигают 1500–1800 м, по падению 180 м, мощность их от 0,5 до 3 м. Общие запасы в прошлом оценивались в 25 млн. т при содержании P_2O_5 от 19 до 42%. Добыча апатита производилась эпизодически и не превышала 2 тыс. т в год.

Подобного же типа небольшие месторождения апатита известны в Италии. Достоверные запасы их составляют 180 тыс. т.

Желваковые фосфориты встречаются в Южной Африке в отложениях нижнепермской серии экка.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ

Бóльшая часть мировых ресурсов калийных солей образовалась в позднепалеозойскую эпоху, особенно в пермское время, когда сформировались такие месторождения, как Верхнекамское в СССР, Главная котловина в ГДР и ФРГ, Карлсбадский (Делавэрский) бассейн в США и др. К верхнедевонским отложениям приурочены месторождения Саскачеванского бассейна в Канаде.

Верхнекамское месторождение калийных солей в СССР приурочено к отложениям кунгурского яруса Предуральского прогиба. Калийные соли подстилаются мощной толщей каменной соли; перекрываются они слоем каменной соли (покровная соль), а также глинистыми и известково-глинистыми отложениями соликамской свиты, в свою очередь перекрытыми песчаниками и глинисто-карбонатными породами уфимского яруса.

В толще калийных солей выделяются две зоны: карналлитовая и сильвинитовая (рис. 71). Карналлитовая зона сложена чередующимися слоями карналлитовых солей, пестрых сильвинитов и каменной соли. В этой зоне насчитывается девять пластов калийных солей. Пласты верхней части зоны сложены в основном карналлитовой породой; в средней части зоны наблюдается фациальная смена карналлитовой породы пестрым сильвинитом; нижняя часть зоны в западной части место-

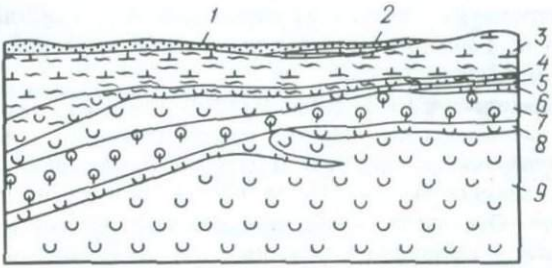


Рис. 71. Типичный разрез Верхнекамского месторождения:

1 – наносы; *2* – известняки; *3* – глины, мергели; *4* – глины, гипсы (гипсовая шляпа); *5* – каменная соль; *6* – вторичные калийные образования; *7* – карналлиты; *8* – сильвиниты; *9* – каменная соль

рождения сложена карналлитом и смешанными солями, которые к востоку замещаются сильвинитом и каменной солью. Пласты калийных солей разделяются прослоями каменной соли. Ниже по разрезу карналлитовая зона сменяется сильвинитовой, которая включает четыре пласта, состоящие из перемежающихся слоев сильвинита и каменной соли. Сильвинитовая зона подстилается каменной солью. Пласты калийных солей на большей части площади залегают горизонтально, а местами под углом от 10 до 60°, что обусловлено проявлением внутрисоляной тектоники.

Несколько уступает Верхнекамскому бассейну по масштабу и качеству калийной минерализации расположенный к северу от него *Верхнегорский* бассейн, представленный сильно глинистыми карналлитсодержащими сильвинитами и карналлитами, не используемыми в настоящее время для производства калийной продукции.

К кунгурскому ярусу нижней перми приурочена калиеносная толща *Прикаспийского* бассейна. Пласты калийных солей группируются в три зоны, заключающие по несколько калийных горизонтов. Они сложены преимущественно сильвинитами, карналлитовыми породами и смешанными хлористыми калийными солями. По периферии соленосной толщи и местами в центральных ее районах развиты пласты полигалитовых пород. В пределах бассейна известно 15 месторождений, среди которых резко выделяется *Эльтонское*, обладающее уникальными по качеству крупными запасами (несколько млрд. т) сильвинитовых руд. Бассейн представляет собой потенциальную сырьевую базу производства бесхлорных удобрений на основе переработки полигалитов.

К отложениям кунгурского яруса перми приурочено также *Жилянское* месторождение калийных солей в Западном Казахстане. Среди соленосных отложений, образующих здесь антиклинальную складку, выделяются два продуктивных горизонта. Нижний, слагающий ядро складки, представлен полигалитовыми солями, верхний, приуроченный

к крыльям структуры, состоит из сильвинитовых и сильвинит-карналлитовых солей. Горизонты разобщены толщей каменной соли мощностью от 90 до 120 м.

К фаменскому и отчасти франскому ярусам верхнего девона приурочены соленосные отложения, широко распространенные в Белоруссии, в пределах *Припятского* прогиба. В его северо-западной части соленосная толща мощностью от 245 до 660 м прослежена на площади 25–30 тыс. м². Она представлена чередованием пластов каменных и калийных солей и глинисто-карбонатных пород. Калийные соли залегают в виде четырех горизонтов, приуроченных в основном к верхней части соленосных отложений. Они характеризуются сложным переслаиванием калийной и каменной соли, глин, мергелей и песчаников (рис. 72). Калийные соли представлены преимущественно сильвинитом, редко встречается карналлит, образующий тонкие прослои среди сильвинита. В пределах разведанной площади соленосная толща и калийные горизонты имеют пластообразную форму залегания, осложненную внутренней соляной тектоникой.

Здесь насчитывается около 30 пластов калийных солей, мощностью от 3 до 20 м. Преобладают глинистые (5–7% н. о.) и сильно глинистые руды (6–10% н. о.), развитые на *Старобинском* месторождении. Практически лишены нерастворимых примесей (0,5% н. о.) руды *Петриковского* месторождения. Содержание K_2O в рудах этих месторождений достигает соответственно 29,4 и 22,3%.

Балансовые запасы сырых солей бассейна составляют 42 млрд. т (7 млрд. т K_2O).

В отличие от бессульфатных месторождений пермского возраста в СССР месторождения ГДР и ФРГ наряду с хлористыми солями калия и магния содержат также сернокислые соли этих элементов. Калийные соли и повсеместно ассоциирующие с ними залежи каменной соли подчинены отложениям верхнего цехштейна (верхняя пермь) и распространены на площади более 150 тыс. км², где они слагают мульдообразные впадины. В связи с проявленными здесь сложными тектоническими процессами отдельные месторождения различаются между собой по геологическому строению, хотя формирование их происходило в едином бассейне и в сходных физико-химических условиях.

В ГДР и ФРГ выделяются семь крупных месторождений, пять из которых – *Северо-* и *Южно-Ганноверское, Магдебург-Хальберштадтское, Южный Гарц* и *Унструт-Заальское* – обладают сходными чертами строения и образуют так называемую Главную котловину. Палеозойским массивом Тюрингенского Леса от нее отграничено *Гессен-Тюрингенское* месторождение, расположенное в верховьях рек Фульда и Верра. Отдельно расположено также *Нижнерейнское* месторождение. Северо- и Южно-Ганноверское, Нижнерейнское месторождения, небольшая часть Магдебург-Хальберштадтского и бо́льшая юго-западная часть Гессен-Тюрингенского месторождений находятся на территории ФРГ.

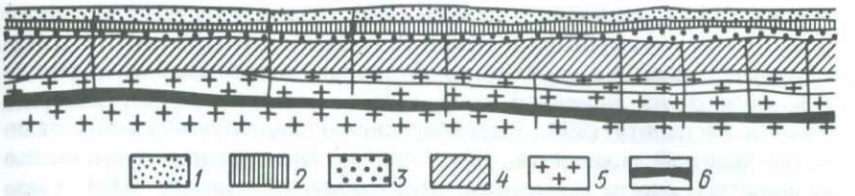


Рис. 72. **Геологический разрез Старобинского бассейна:**

1 – четвертичные отложения; *2* – третичные отложения; *3* – меловые отложения; *4* – глинисто-мергелистая свита девона; *5* – соленосная свита; *6* – калийные пласты

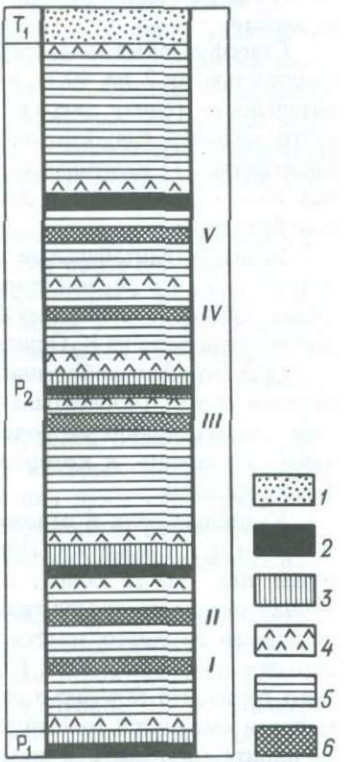


Рис. 73. **Сводный схематический разрез германского цехштейна** *(по Г. Рихтеру-Бернбургу)*:

1 – пестрые песчаники; *2* – соляная глина; *3* – доломиты; *4* – ангидриты; *5* – каменная соль; *6* – калийные соли. I–V – горизонты калийных солей: I – Гессенский, II – Тюрингенский, III – Стассфуртский, IY – Роненбергский, Y – Ридельский

Во всей указанной соленосной провинции в основании продуктивной толщи залегают конгломераты, медистые песчаники и известняки нижнего цехштейна (рис. 73).

Наиболее полно разрез продуктивных отложений, общая мощность которых достигает 900 м, представлен в Главной котловине. Здесь выделяются три пласта калийных солей – Стассфуртский, Ронненбергский и Ридельский, залегающие среди слоев каменной соли, переходных слоев, ангидритов и соленосных глин. Наиболее важное значение имеет Стассфуртский пласт, мощность которого колеблется от 6 до 40 м. Он обычно почти нацело сложен карналлитовой породой, в состав которой входят карналлит (55%), каменная соль (26%),

кизерит (17%), ангидрит и глины (2%). В ней присутствуют также бром (до 0,17%), рубидий и цезий. Реже этот пласт представлен „твердой солью", иногда с карналлитовой породой в висячем боку. Твердая соль состоит из каменной соли (55%), сильвина (24%), кизерита (18%) и ангидрита (3%). Ронненбергский и Ридельский пласты отличаются меньшей мощностью (до 6–10 м), сложены преимущественно сильвинитом, иногда с высоким содержанием KCl (до 30–40%). Только в Северо-Ганноверском месторождении присутствуют все три пласта вместе.

Стассфуртский пласт обычно подстилается переходными слоями мощностью от 2 до 40 м, в которых часто наблюдается такая последовательность (снизу вверх): 1) каменная соль, в которой ангидрит отчасти замещен глауберитом; 2) каменная соль с тонкими прослоями полигалита; 3) каменная соль с кизеритом и вантгоффитом; 4) каменная соль с кизеритом и ловенитом; 5) каменная соль с кизеритом и лангбейнитом.

Условно рентабельные запасы калийных солей ФРГ оцениваются в 1600 млн. т в пересчете на K_2O (среднее содержание ее – 12%), а годовая добыча ее составляет 2,5 млн. т. В ГДР годовая добыча калийных солей в пересчете на K_2O достигает 3,3 млн. т.

Сравнительно небольшие месторождения, подчиненные отложениям верхней перми, разрабатываются во Франции, в Ландах, но основные запасы калийных солей Франции заключены в отложениях третичного возраста, к которым приурочено наиболее крупное *Эльзасское* месторождение.

Калийные соли в отложениях пермского возраста известны в Великобритании (Йоркшир). При бурении на нефть здесь обнаружены два пласта солей, сложенных преимущественно сильвинитом. Общая мощность продуктивного горизонта составляет 55 м при средней мощности верхнего пласта 6 м и нижнего 7,5 м. Содержание KCl в верхнем пласте достигает 17%, в нижнем пласте – 32%. Ниже продуктивного горизонта залегает толща каменной соли мощностью около 85 м, которая сменяется толщей пород, состоящей из перемежающихся слоев ангидрита, доломита и каменной соли общей мощностью до 400 м. Перекрывается горизонт калийных солей каменной солью мощностью до 27 м, выше которой залегает пласт ангидрита и глин мощностью до 3 м. Запасы солей в пересчете на K_2O оцениваются в 60 млн. т. В 1980 г. на руднике компании „Кливленд поташ" в Баулби произведено 300 тыс. т K_2O, однако это составляет лишь треть его мощности. Неожиданно возникшие трудности – недостаточная прочность покрывающих пород, высокая температура и присутствие газов в шахте, неравномерность залегания руды, а также высокий уровень нерастворимых соединений в добываемой руде – вынуждают сменить оборудование для перехода с камерно-столбового на непрерывный метод добычи и в 2,5 раза увеличить число занятых на руднике.

Калийные соли, приуроченные к отложениям верхней перми, вскрыты буровыми скважинами в ряде районов Дании, где они ассоциируют

ют с крупными залежами каменной соли. Сведения о промышленном освоении этих месторождений отсутствуют.

Крупнейшие ресурсы калийных солей сосредоточены в Северной Америке, преимущественно в К а н а д е, где расположен уникальный по масштабу и качеству руд *Саскачеванский* бассейн. Соленосная его толща среднедевонского возраста прослежена на протяжении 800 км при ширине 250 км. Калийные соли приурочены к верхней части соленосной толщи, на глубинах от 750–850 м на севере до 2500 м на юге. Пласты калийных солей мощностью от 1,5 до 5,2 м сложены в основном сильвинитом, часто со значительной примесью хлористого кальция. Встречаются также мощные карналлитовые пласты. Среднее содержание K_2O в промышленных пластах 25–35%, в некоторых же пластах мощностью до 1,5 м оно достигает 40%. Породы, покрывающие соленосную толщу, отличаются обильной водоносностью, и среди них развиты мощные плывуны.

До глубины 1050 м общие запасы калийных солей бассейна в пересчете на K_2O составляют 12 млрд. т. С учетом более глубоко залегающих пластов, пригодных для рентабельной разработки методом выщелачивания, общие запасы оцениваются в 50 млрд. т K_2O. Бассейн занимает первое место в мире по добыче калийных солей. Проектная мощность действующих предприятий 7 млн. т K_2O. В 1979 г. добыто 6,4 млн. т K_2O.

Высокая мощность кровли при выемке солей позволяет разрабатывать месторождение камерами, размеры которых достигают 26 м ширины и 1219 м длины. Степень извлечения руды составляет максимум 55%. Низкий процент извлечения объясняется необходимостью иметь более мощные опорные колонны в выработанных камерах из-за невысокой прочности самой руды.

В Канаде выявлен также ряд месторождений калийных солей с более благоприятными горнотехническими условиями разработки. В Саскачеване вблизи Йорктона разведано месторождение, в пределах которого пласты калийных солей залегают на глубине 107 м от поверхности. Общие их запасы определены в 225 млн. т при среднем содержании в них 27,8% K_2O. В провинции Манитоба разведано месторождение *Сент-Лазар* с более благоприятными гидрогеологическими условиями, чем в Саскачеванском бассейне; водоносный горизонт находится на меньшей глубине и характеризуется меньшей мощностью. Основной пласт калийных солей мощностью 1,2 м содержит в среднем 22% K_2O. Извлекаемые запасы солей оцениваются в 50 млн. т. Открыто месторождение в провинции Новая Шотландия, в районе пролива Нортумберленд. Извлекаемые запасы калийных солей его при добыче их обычным подземным способом оцениваются в 2 млрд. т (790 млн. т KCl), а при применении подземного выщелачивания – 2,9 млрд. т (1 млрд. т KCl).

Разведано месторождение близ Солт-Спрингс в провинции Нью-Брансуик; пласт сильвинитовой руды, залегающий на глубине от 600 до 1000 м, имеет мощность от 15 до 20 м и прослежен на протяжении 3600 м. Содержание K_2O а руде колеблется от 29 до 32%. В 18 км

от месторождения в окрестностях Сассекса вскрыты калийные соли месторождения *Плювессин*, на котором предусматривается сооружение предприятия мощностью 630 тыс. т KCl в год. Сравнительно крупное месторождение разведуется на о. Магдалены в зал. Святого Лаврентия.

Общие запасы калийных солей Канады, доступных для шахтной отработки, составляют в пересчете на K_2O 14 млрд. т при среднем содержании ее в руде 25%.

В С Ш А крупные залежи калийно-магниевых солей приурочены к юго-западной окраине пермского соленосного бассейна. Около 90% калийных солей, добываемых в США, приходится на штат Нью-Мексико (*Делавэрский бассейн*), где ископаемые соли – полигалит, сильвинит, лангбейнит и каинит – залегают на глубине от 200 до 540 м. Общая мощность соленосной толщи 1200–1350 м. Толща включает до 40 пластов калийных солей, в том числе 13 промышленных, которые образуют две сильвинит-галитовые зоны, разделенные каменной солью и полигалитом. Мощность пластов колеблется от 0,6 до 4,4 м. Пласты отличаются спокойным залеганием, образуют пологие складки небольшой амплитуды, подстилаются и покрываются каменной солью, от которой обычно отделяются прослоями зеленоватой глины мощностью 5–7 см. Мощность пласта, сложенного главным образом сильвинитом, 1,2–3,6 м. Кроме сильвинита в эксплуатируемом пласте в небольшом количестве присутствуют полигалит, лангбейнит, карналлит и другие калийные соли. В карналлите установлено до 0,5% Rb_2O. Содержание в пластах K_2O колеблется от 14 до 28%.

К толще пород средневонского возраста приурочены месторождения, обнаруженные в штатах Северная Дакота и Монтана. Максимальная вертикальная мощность залежи 168 м, глубина залежи колеблется от 1707 до 3660 м в штате Северная Дакота и от 2530 до 3500 м в штате Монтана. Общие запасы K_2O в этой части Йеллоустонского бассейна оцениваются приблизительно в 60 млн. т, однако из-за значительных глубин залегания эксплуатация месторождений в ближайшем будущем не предусматривается.

Общие запасы калийных солей США составляют 200 млн. т в пересчете на K_2O при среднем ее содержании в руде 16%. Годовая добыча в последнее время находится на уровне 2,5 млн. т K_2O при суммарной производительности рудников *Карлсбадского* бассейна в 3,09 млн. т. Бассейн разрабатывается с начала 30-х годов; богатые его руды, содержащие в среднем 20% K_2O, в значительной степени уже выработаны, и в эксплуатацию вовлекаются руды с содержанием до 15% K_2O.

В Б р а з и л и и пласты калийных солей, представленные преимущественно сильвинитами, установлены в раннепермской соленосной толще, развитой в среднем и нижнем течении р. Амазонки на площади более 100 тыс. км^2. Мощность ее изменяется от 650 до 1200 м.

С проявлениями позднепалеозойского магматизма связана бо́льшая часть промышленных месторождений плавикового шпата. Они сосредоточены в основном в США, Западной Европе и СССР.

В США наиболее значительные месторождения расположены в штатах Иллинойс и Кентукки, которые составляют часть одной из крупнейших в мире рудных провинций – провинции долины Миссисипи, включающей также полиметаллический район Три-Стейтс, Юго-Восточный пояс Миссури, полиметаллические месторождения северного Арканзаса и района Висконсин – Иллинойс и баритовые месторождения центральной части штата Миссури.

Все эти месторождения сходны по геологическим условиям и приурочены преимущественно к пологолежащим известнякам и доломитам палеозойского возраста (от кембрия до верхнего карбона), часто перекрытым сланцами. Вопрос о возрасте самой минерализации остается до настоящего времени дискуссионным. В прошлом большинство исследователей склонны были относить ее к позднему палеозою и связывать оруденение с магматической деятельностью пермского периода, между тем как в последнее время укрепилось мнение о связи его с кайнозойской тектоно-магматической активизацией более древних структур.

Промышленные месторождения плавикового шпата сосредоточены на юге штата Иллинойс и на западе штата Кентукки, на площади 112 х 64 км, которая сложена горизонтально залегающими нижнекаменноугольными известняками, песчаниками и сланцами, прорванными пироксеновыми лампрофирами и слюдистыми перидотитами.

Отчетливо проявляется структурный контроль оруденения. Большинство рудных тел приурочено к хорошо выраженным крупным сбросам и связанным с ними более мелким дизъюнктивным нарушениям – зонам трещиноватости и брекчирования. Преобладает жильный тип месторождений, реже встречаются месторождения замещения в известняках. Промышленный интерес представляет также остаточный тип месторождений, образовавшихся в результате выветривания коренных месторождений, особенно верхних продуктивных зон замещения в известняках.

Представителем жильного типа является месторождение *Розиклер*, расположенное в штате Иллинойс и приуроченное к сбросовой зоне протяженностью более 7 км. Вдоль этой зоны разведан ряд крутопадающих плавиковошпатовых жил разных размеров, из которых наиболее продуктивные сосредоточены в пределах участка длиной 2,7 км. Длина отдельных жил, имеющих обычно чечевицеобразную форму, достигает 500 м, а изредка и более, по падению они прослеживаются на 300 м, средняя мощность их 2–3 м, иногда 8–10 м. Уменьшение мощности жил и пережимы обычно наблюдаются в местах их пересечения с прослоями сланцев. Жилы состоят из плавикового шпата, кальцита, кварца, среди которых в переменном, но небольшом

количестве присутствуют барит и сульфиды, представленные преимущественно галенитом и сфалеритом; встречаются гипс и целестин.

Содержание флюорита в жилах колеблется в широких пределах. Среднее содержание его в разрабатываемых рудах 45%, встречаются жилы, нацело сложенные плавиковым шпатом. В качестве общей закономерности отмечается, что наибольшей чистотой характеризуются участки жил между кальцитизированными стенками или кальцитовыми участками внутри жил.

Месторождения жильного типа особенно широко распространены в штате Кентукки. Бóльшая часть месторождений отличается сравнительно небольшими размерами, но в целом общие ресурсы их оцениваются в несколько миллионов тонн. Состав руды весьма пестрый. Обычными жильными минералами, кроме флюорита, являются кальцит, кварц, темный опал и доломит. Сульфиды встречаются в виде рассеянных зерен, тонких прожилков и кристаллов, выстилающих мелкие пустоты. Наряду с высококачественными рудами, в которых путем простейшей рудоразработки содержание плавикового шпата доводится до 98%, часто встречаются низкосортные руды, сложенные в основном кальцитом и кварцем. Руды многих месторождений содержат в значительных количествах сульфиды свинца, цинка, меди и реже железа. Иногда в отдельных жилах содержание галенита настолько велико, что он становится главным объектом добычи.

Характерный представитель месторождений замещения – месторождение *Кейв-ин-Рок*, расположенное в штате Иллинойс, в районе свинцовых месторождений Лед Хилл, и связанное с крупным сбросом. Это, по-видимому, одно из крупнейших в мире месторождений плавикового шпата. Продуктивные залежи пластообразной формы приурочены здесь к нескольким стратиграфическим горизонтам известняков общей мощностью 60–70 м и сосредоточены в пределах полосы протяженностью около 8000 м. Часто встречаются параллельно-полосчатые структуры рудных залежей, которые, по мнению исследователей, являются результатом послойного замещения известняка гидротермальными растворами или ритмическим отложением флюорита. Плавиковый шпат замещает известняк и цементирует известковую брекчию. Руды обычно содержат кальцит, барит, кварц, галенит, сфалерит, марказит. Среднее содержание плавикового шпата в рудах 50–60, иногда 80%. Местами в рудах отмечаются значительные концентрации сфалерита (до 14%) и галенита (до 5%). Месторождение Кейв-ин-Рок известно также как поставщик оптического флюорита, хорошо образованные кубические кристаллы которого встречаются на стенках пустот в брекчиях.

В районе штатов Иллинойс и Кентукки разработка месторождений плавикового шпата началась в 1871 г., и за истекшие годы богатые руды почти полностью отработаны. В целом по США общие запасы руд плавикового шпата с содержанием минерала в среднем 35–40% оцениваются в 65 млн. т, в том числе доказанные – 50 млн. т. Бóльшая часть их, вероятно около 90%, заключена в месторождениях

позднепалеозойского возраста в районе Иллинойс – Кентукки. Остальные запасы сосредоточены в месторождениях западных штатов, особенно в Колорадо, где они генетически связаны с кайнозойским магматизмом. В 1974 г. в США произведено 201 тыс. т концентратов плавикового шпата, а в 1970 г. – только 77,4 тыс. т.

В Канаде наиболее крупные запасы плавикового шпата сосредоточены в месторождениях Ньюфаундленда (побережье зал. Святого Лаврентия), образование которых связано с интрузией герцинских аляскитовых гранитов. Здесь разрабатывались жильные месторождения, которые обеспечивают большую часть добычи этого полезного ископаемого в стране. В последнее время добыча была целиком сосредоточена на месторождении *Сент-Лоренс.* Руды его отличались высоким качеством и содержали от 70 до 95% плавикового шпата. Ряд жил прослеживался по простиранию на 1000–1600 м при мощности от 1,2 до 6 м. Добыча осуществлялась подземным способом. В 1977 г. производство концентратов, содержащих в среднем 70% плавикового шпата, составило 40 тыс. т, и дальнейший их выпуск в стране прекратился в связи с их неконкурентоспособностью с импортными концентратами.

Мелкие месторождения плавикового шпата неопределенного возраста известны в штате Онтарио, в районе г. Медок. В зависимости от конъюнктуры рынка они периодически разрабатывались.

Общие запасы руд плавикового шпата в Канаде оцениваются в 5 млн. т, в том числе доказанные – 3 млн. т.

Сравнительно крупными запасами плавикового шпата, сосредоточенными в верхнепалеозойских месторождениях, располагает ряд стран Западной Европы, в том числе ГДР, ФРГ, Франция, Великобритания, Испания и Италия.

Особенно широко месторождения плавикового шпата распространены в ГДР и ФРГ. До второй мировой войны Германия занимала одно из ведущих мест в мире по добыче плавиковошпатовых руд. В пределах ГДР основные месторождения находятся в Гарце, Тюрингенском Лесу, Фогтланде и Рудных горах.

В *Гарце* месторождения представлены сериями мощных (до 5–12 м) существенно флюоритовых или кварц-флюоритовых жил, залегающих в палеозойских сланцах вблизи их контакта с варисскими гранитами. Кроме флюорита и кварца, руды содержат в переменных количествах кальцит, халькопирит, пирит, магнетит, галенит, реже барит. Последний более широко развит в месторождениях *Тюрингенского Леса,* где он иногда является главным рудообразующим минералом.

Наряду с типичными жильными месторождениями встречаются и минерализованные зоны, приуроченные к участкам интенсивной трещиноватости. На месторождении *Флосберг* минерализованная трещина прослеживается в длину на 8 км при мощности в четковидных раздувах до 15 м. Она пересекает гнейсы, граниты и породы цехштейна. Руды отличаются высоким качеством. Кроме флюорита, в них при-

сутствуют в небольшом количестве кварц, сидерит и халькопирит. В некоторых месторождениях свинцово-серебряных руд ГДР плавиковый шпат является одним из наиболее распространенных минералов.

В ФРГ все известные месторождения плавикового шпата относятся к жильному типу. Наиболее крупные из них сосредоточены в северо-западной части Баварии, в районе *Оберпфальц*. Здесь многочисленные жилы плавикового шпата залегают среди гранитов, вблизи их контакта с пермскими отложениями, и локализуются в пределах сравнительно протяженного пояса. Жилы отличаются небольшими размерами: длина их по простиранию не превышает нескольких сотен метров, по падению они прослеживаются на 200 м при средней мощности около 1 м, а в раздувах до 8–10 м.

Среднее содержание плавикового шпата в рудах разрабатываемых месторождений изменяется от 50 до 70%. В ряде месторождений плавиковый шпат сопровождается баритом, с которым часто ассоциирует полиметаллическая минерализация. Руды характеризуются высоким качеством: значительная их часть после простой ручной сортировки может применяться в черной металлургии и химической промышленности. В некоторых жилах установлено присутствие урановых минералов – отенита и торбернита. Общие запасы плавиковошпатовых руд в ФРГ оцениваются в 4 млн. т; из них 3 млн. т составляют доказанные запасы руд со средним содержанием CaF_2 около 50%. В 1980 г. производство концентрата достигло 87 тыс. т.

С месторождениями ФРГ весьма сходны многочисленные месторождения плавикового шпата Франции. Основное значение в добыче имеют месторождения *Центрального* массива, расположенные в департаментах Верхняя Луара, Пюи-де-Дом, Сона и Луара. Месторождения приурочены к гранитам, гнейсам и метаморфическим сланцам и обычно отличаются небольшими запасами (до 100–200 тыс. т руды), но высоким качеством руд. Содержание фтористого кальция в рудах отдельных месторождений колеблется от 50 до 90%. Для них характерно отсутствие барита, наличие небольшого количества кварца и иногда редких включений пирита, халькопирита, бурнонита и сфалерита. Руды отдельных месторождений наряду с флюоритом содержат в промышленных концентрациях минералы урана, которые также являются предметом добычи.

От месторождений Центрального массива несколько отличаются характером минерализации месторождения плавикового шпата, расположенные в горах *Эстерель* и *Пиренеях*. Руды этих месторождений характеризуются высоким содержанием барита, достигающим 20%. Иногда в них встречаются хорошо выраженные кристаллы оптического флюорита.

В 60-х годах открыты и разведаны новые крупные метасоматические месторождения пластового типа в Пиренеях, в северо-западных отрогах массива Канига и на северной окраине Центрального массива в рудном районе Морван. В Морване залежи характеризуются значитель-

ными размерами и запасами руды, но с относительно низким содержанием фтористого кальция – менее 34–39%. Пластообразные залежи являются теперь основным резервом плавиковошпатового сырья в стране.

Общие запасы плавиковошпатовых руд Франции оцениваются в 30 млн. т, из которых 22 млн. т составляют доказанные запасы руд, содержащих 32–35% фтористого кальция. Месторождения Центрального массива эксплуатируются более 100 лет, и на некоторых из них разработки достигли глубины 400 м. В последнее время годовое производство не превышает 300 тыс. т концентрата; в общем объеме производства высока доля металлургического сорта. На месторождения Центрального массива приходится около 75% добычи металлургического плавикового шпата при его содержании 80%. Крупный источник этого продукта – месторождение *Эскаро.*

В Великобритании плавиковый шпат добывается в Дербишире, Дургаме, Нортумберленде и ряде других районов страны. Наиболее важное значение имеют месторождения *Дербишира,* представленные жилами и трубо- и пластообразными залежами замещения в каменноугольных известняках. Среднее содержание флюорита в рудах 45–80%. Руды содержат в переменных количествах барит, кальцит, кварц и отличаются повышенным содержанием галенита и сфалерита. С глубиной барит и кальцит постепенно замещают флюорит, и глубокие горизонты рудных тел сложены ими почти нацело.

В *Дургаме* преобладают месторождения жильного типа, приуроченные к тектоническим трещинам в толще перемежающихся песчаников, сланцев и известняков каменноугольного возраста. Некоторые жилы характеризуются большими размерами и прослеживаются по простиранию на несколько километров, мощность составляет 4 м. По минеральному составу они мало отличаются от руд Дербишира, в них также галенит и реже сфалерит образуют промышленные концентрации. В *Корнуолле* и *Девоне* разрабатываются комплексные месторождения, содержащие, кроме плавикового шпата, медь, свинец, олово и вольфрам.

Эксплуатация многих месторождений Великобритании осуществлялась открытым способом, но в связи с отработкой верхних горизонтов и истощением запасов богатых руд в настоящее время добыча подземным способом сравнительно низкосортных руд производится на глубине до 300 м. В ряде месторождений в заметных количествах встречается оптический флюорит. Общие запасы плавиковошпатовых руд Великобритании с содержанием флюорита 40% оцениваются в 35 млн. т, из них доказанные – 29 млн. т. В 1980 г. производство концентрата составило 181 тыс. т.

Более 200 месторождений плавикового шпата выявлено на территории Испании. Почти все они сосредоточены в Каталонии, Астурии и Кордове. К верхнепалеозойским более или менее достоверно относят самое крупное месторождение *Озор* (Каталония), где неравномерно минерализованная жильная зона приурочена к кристаллическим сланцам, прорванным герцинскими гранитоидами. Зона прослеживается по простиранию на 3 км при мощности до 10 м. Общие запасы руд

оцениваются в 5 млн. т. В разрабатываемых рудах среднее содержание CaF_2 составляет 55–60%, SiO_2 – 15–20%, $CaCO_3$ – 6–10%, $BaSO_4$ – 2–4%, сфалерита – 3–5%, галенита – 2%.

Большинство месторождений плавикового шпата других районов Испании образовалось в мезозойскую эпоху рудообразования.

Общие запасы плавиковошпатовых руд в стране оцениваются в 18 млн. т, из которых 13,5 млн. т являются доказанными. В 1980 г. произведено 297 тыс.т концентрата преимущественно кислотного сорта.

К разным эпохам рудообразования относятся также месторождения плавикового шпата И т а л и и. В Сардинии они, по-видимому, одновозрастны с полиметаллическими рудами и генетически связаны с герцинскими гранитами. Наиболее крупное из них месторождение *Монреаль* представлено многочисленными кварц-флюоритовыми жилами, длина которых редко превышает 100–150 м при мощности от 1 до 5 м. Среднее содержание флюорита в рудах составляет 60%, но путем ручной сортировки оно доводится до 90–97%. Кроме флюорита и кварца, в рудах постоянно присутствует барит, содержание которого достигает 10%. Общие запасы руд оцениваются в 1 млн. т.

Месторождения плавикового шпата, расположенные в Ломбардии и вблизи Рима, образовались, вероятно, в кайнозойскую эпоху.

В Африке с герцинскими гранитами пространственно и, по-видимому, генетически связаны месторождения Ц е н т р а л ь н о г о М а р о к к о. Они представлены кварц-флюоритовыми жилами, залегающими преимущественно в известняках. В жилах постоянно присутствуют барит и в небольших количествах сульфиды. Жильные зоны в районе Мекнес прослеживаются по простиранию на 2 км, мощность отдельных жил 8 м. Среднее содержание флюорита в рудах 75%, а запасы руд оценивались в 1,5 млн. т. В 1977 г. здесь завершена разведка крупного жильного месторождения *Ел Хамман*, доказанные запасы плавиковошпатовых руд которого составляют 1,5 млн. т при среднем содержании фтористого кальция 54%. Сравнительно небольшие месторождения Восточного Марокко генетически связываются с третичным магматизмом. Общие запасы плавиковошпатовых руд Марокко оцениваются в 3,5 млн. т; годовое производство составляет 64 тыс. т концентрата.

В С С С Р с проявлениями верхнепалеозойского магматизма связаны месторождения плавикового шпата в ряде районов. В Средней Азии они представлены как метасоматическими залежами в карбонатных породах, так и трещинными жилами главным образом в гранитоидах.

Характерный представитель первого типа – *Аурахматское* месторождение, приуроченное к контакту рифовых известняков со свитой известняково-сланцевых пород нижневизейского возраста. Оруденение концентрируется в зонах трещиноватости и проявлено в форме линз, гнезд, штокверковых участков, содержащих весьма разнообразный комплекс минералов. Кроме основных компонентов – флюорита,

кварца и барита, в них почти постоянно присутствуют в качестве примеси сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, антимонит, блеклая сурьмяная руда. Из гипергенных минералов встречаются сера, гётит, лимонит, малахит, азурит, церуссит, хризоколла.

Представитель второго типа – *Такобское* месторождение, на котором оруденение проявлено в форме крутопадающей жилы в герцинских гранитах. Жила характеризуется резко выраженным полосчатым строением. Центральная часть ее сложена флюоритом и кварцем, в небольшом количестве присутствуют кальцит, галенит, сфалерит, каламин, смитсонит, церуссит. Висячий бок сложен рудной брекчией, состоящей из обломков плавикового шпата, каолинизированных гранитов, зерен галенита, сцементированных мелкозернистым агрегатом кварца и плавикового шпата. В лежачем боку граниты интенсивно оплавикованы, и в них развиты те же минералы, что и в самой жиле, за исключением кальцита.

В разведанном *Солнечном* месторождении, расположенном в Центральном Казахстане, оруденение локализовано в мраморизованных окремненных известняках фаменского яруса, вблизи их контакта с филлитами франского яруса. Сложной формы рудные залежи образуют зоны протяженностью от 50 до 700 м, в пределах которых общая мощность отдельных серий сближенных залежей достигает 40–70 м. На глубину промышленные руды прослежены до 280 м и представлены топазо-флюоритовыми и слюдисто-флюоритовыми разностями. В рудах присутствуют также пирит, халькопирит, рутил, касситерит и др. Текстура топазо-флюоритовых руд массивная, реже полосчатая, а слюдисто-флюоритовых – преимущественно полосчатая. Среднее содержание фтористого кальция в рудах составляет около 33%; более высоким содержанием (около 37%) характеризуются породы коры выветривания, развитой на месторождении. Мощность ее колеблется от 2 до 24 м (в среднем 10 м).

Широкое развитие метасоматических руд плавикового шпата установлено в Таскайнарском районе Южного Казахстана. Основное оруденение на разведанном месторождении *Южный Таскайнар* локализовано в межформационных брекчиях, состоящих из слабоокатанных обломков среднеордовикских известняков, сцементированных песчаниками нижнего карбона и рудным материалом. Главная рудная залежь плащеобразной формы расположена на глубине 40 м, нижняя – опускается до глубины 250 м. Мощность наиболее выдержанной центральной ее части 13,2 м. Содержание в руде флюорита колеблется от 0 до 78% (в среднем 30%), кварца от 2,3 от 76%, кальцита от 0 до 78%. Присутствуют барит, пирит, галенит. Общие запасы залежи оцениваются в 8 млн. т. Оруденение проявлено также в форме метасоматических залежей массивно-вкрапленных руд в подстилающих известняках и прожилково-вкрапленных руд в песчаниках кровли. Кроме того, в известняках развиты и крутопадающие рудные жилы, размещение которых контролируется системой трещин продольного разлома. Мощность их колеблется от 0,5 до 12 м, протяженность от нескольких

десятков до 400 м и по падению до 120. Запасы пяти наиболее крупных жил составляют 0,5 млн. т при среднем содержании флюорита 26,8%. Месторождение относится к телетермальному низкотемпературному типу. Генетически оруденение Таскайнарского района связывается с субщелочными гранитоидами узунсукарасуйского комплекса позднегерцинского магматизма.

На Украине к этому типу относится *Покрово-Киреевское* месторождение, линзообразная рудная залежь которого приурочена к известнякам турнейского яруса и ограничена с востока крупным надвигом, а с запада и юга – зонами разломов. Залежь сложена карбонатно-флюоритовыми и частично карбонатно-полевошпатово-флюоритовыми рудами. Длина ее составляет 250 м, ширина в плане 70–180 м, мощность от 4,4 до 70 м. Богатые руды, представленные карбонатно-флюоритовыми разностями, развитые преимущественно в центральной части залежи, содержат от 73,5 до 83% фтористого кальция и пригодны для использования в металлургической промышленности после соответствующей рудоразборки. Более широко распространенные рядовые руды, содержащие 38–71% фтористого кальция, могут быть использованы после флотационного обогащения. На месторождении развита кора выветривания мощностью до 30,6 м, а также флюоритсодержащие делювиально-пролювиальные отложения. Содержание фтористого кальция в выветрелых рудах 73,5–92,6%.

К позднему палеозою, по-видимому, относится образование *Амдерминского* месторождения, расположенного на берегу Карского моря. Метасоматические залежи и менее интересные в практическом отношении рудные жилы приурочены к контакту кембрийских и нижнесилурийских известняков и локализуются преимущественно в сводах или верхних частях антиклинальных складок, на участках максимальной трещиноватости. Магматические породы в районе месторождения отсутствуют. В структурном отношении район располагается в пределах северо-восточного крыла антиклинория, формирование которого связано с герцинскими движениями. Руды сложены флюоритом, кварцем и кальцитом с незначительной примесью сфалерита, халькопирита и пирита. Широко проявлена флюоритизация вмещающих известняков. Содержание в них флюорита обычно составляет несколько процентов, но местами оно постепенно увеличивается и достигает 70%.

АЛМАЗЫ

Коренные промышленные месторождения алмазов позднепалеозойского возраста достоверно не установлены. Возможно, что какая-то часть кимберлитовых трубок, распространенных в пределах Якутской АССР (СССР), относится к этой эпохе рудообразования. В пользу такого предположения свидетельствует взаимоотношение Сытыканской трубки с перекрывающими ее пермскими отложениями, а также присутствие в последних пиропа – обычного парагенетического спутника алмазов в этой провинции. До настоящего времени не установлены

коренные источники алмазоносных россыпей Урала; вполне вероятно, что ими могли быть палеозойские интрузии.

С палеозойским магматизмом связаны редкие проявления алмазов в Аппалачах (США).

АСБЕСТ

Крупные месторождения асбеста позднепалеозойского возраста известны только в СССР. К ним относятся месторождения восточного склона Урала, приуроченные к нижневизийским ультраосновным интрузивным породам — в различной степени серпентинизированным перидотитам и пироксенитам.

В пределах *Баженовского* асбестоносного района к ультраосновным породам примыкает с запада массив габбро, а с востока и юга мощный гранитный массив более молодого, но также палеозойского возраста. Широко развита дайковая фация этих интрузий, представленная преимущественно аплитовыми и более кислыми разностями. На контакте гранитов с ультраосновными породами в результате контаминации развиты диориты. Серпентинизация наиболее интенсивно проявилась вдоль мощных зон разломов, к которым приурочены диорит-аплиты и дайки разных кислых пород. Развитые здесь тальково-карбонатные породы, а также промышленные залежи хризотил-асбеста представляют собой участки серпентинитовых пород, пронизанных жилками асбеста мелкопрожильного и сетчатого типов. Характерна приуроченность промышленной асбестоносности только к апоперидотитовым серпентинитам. В серпентинизированных пироксенитах встречаются лишь мелкие проявления асбестовой минерализации и только там, где пироксениты отличаются высоким содержанием оливина или ассоциируют с перидотитами (рис. 74).

Размеры промышленных залежей асбеста колеблются в довольно широких пределах. Длина их достигает нескольких тысяч метров, ширина — нескольких сотен метров. Предполагают, что в ряде залежей промышленная минерализация продолжается до глубины 1000 м. В отдельных залежах выделяются зоны отороченных жил, крупной сетки, мелкой сетки, мелких прожилков, просечек и единичных жил, а также встречаются залежи или части залежей, где развита лишь одна зона отороченных жил.

Асбест представлен в основном поперечноволокнистыми разностями и в незначительных количествах продольноволокнистыми. Поперечноволокнистый асбест обычно характеризуется высокой механической прочностью на разрыв, мягкостью, тонкостью, эластичностью и высокой жаростойкостью. Длина волокна колеблется от долей миллиметра до 50–80 мм, однако преобладает асбест с длиной волокна от 1 до 10 мм.

Большинство исследователей считают, что автометаморфическая серпентизация ультраосновных пород, хотя и проявилась весьма широко, не сопровождалась возникновением асбестовых руд. Образование

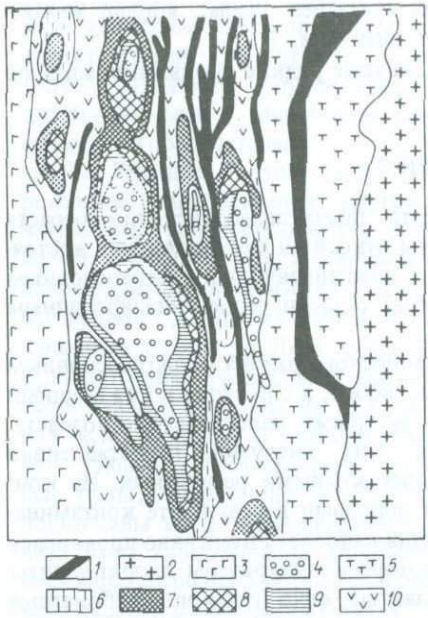


Рис. 74. Схематическая геологическая карта центральной части Баженовского месторождения:

1 – дайки диорит-аплитов; *2* – граниты; *3* – габбро; *4* – перидолиты; *5* – тальковые породы; *6* – серпентиниты с просечками асбеста; *7* – серпентиниты с асбестом типа мелкой сетки и мелких прожилков; *8* – серпентиниты с асбестом типа крупной сетки; *9* – периодиты с отороченными жилами асбеста; *10* – серпентиниты массивные и рассланцованные

последних произошло, по-видимому, под воздействием гидротермальных растворов, связанных с гранитными интрузиями.

Расчеты баланса при серпентинизации, проведенные Л. А. Соколовой, показали, что при серпентинизации перидотитов происходит вынос MgO и SiO_2 в количествах, достаточных для образования асбогеля, а при серпентинизации пироксенитов из породы выносится только SiO_2, и асбогель не может образоваться. Серпентинизация как перидотитов, так и пироксенитов приводит к отрицательному общему балансу вещества, и этим обусловлена пористость породы, а также образование контракционных трещин. При карбонатизации и отальковании ультраосновных пород происходит привнос CO_2 и SiO_2 и вынос других компонентов. Асбестообразованием этот процесс не сопровождается.

Промышленные залежи асбеста, связанные с интрузиями герцинского орогенеза, разведаны в *Джетыгаринском* месторождении, расположенном в северо-западной части Казахстана. Они приурочены к ультраосновному массиву протяженностью 11,3 км и шириной 3 км, сложенному периодитами типа гарцбургитов и апогарцбургитовыми серпентинитами антигорит-хризотилового состава. Ультраосновной массив прорван крупными телами гранодиоритов и небольшими штоками гранодиорит-порфиров, с которыми генетически связаны промышленная абсестоносность и образование тальковых сланцев и талькокарбонатных пород. Разведано четыре залежи, из которых наиболее крупная прослежена в длинну на 3,2 км. при мощности 30–90 м в се-

верной части и до 210-550 м в южной. Промышленные руды представлены серпентинитами, в которых асбестоносность проявлена в форме крупной и мелкой сетки сложных жил в сочетании с типом сетчатым и просечек. Преобладает поперечно-волокнистый хризотил-асбест, реже встречаются продольноволокнистые разности. Промышленное оруденение прослежено на глубину до 800 м. Общие запасы асбестового волокна, представленного преимущественно V и VI сортами, оцениваются в 47 млн. т, в том числе разведанные – 36 млн. т. В разведанных рудах среднее содержание абсеста 3,25–3,75%.

Значительные запасы асбеста сосредоточены на *Киембаевском* месторождении в Оренбургской области, приуроченном к одноименному массиву ультрабазитов. Здесь выделяется ряд крутопадающих асбестоносных залежей протяженностью от 200 до 1850 м и мощностью от 50 до 700 м. Промышленная минерализация прослежена буровыми скважинами до глубины более 800 м. Так же как и на Джетыгаринском месторождении, преобладает асбест V и VI сортов, среднее содержание которого в рудах 4,6%. Общие запасы асбестового волокна 31 млн. т, в том числе разведанные – 25 млн. т.

В позднем палеозое образовались месторождения хризотил-асбеста района северо-восточной части Нового Южного Уэльса в Австралии. Они приурочены к крупному сбросу Пил, проходящему по границе верхнепалеозойской толщи пород и весьма интенсивно дислоцированных пород неопределенного возраста. Выявленное здесь месторождение *Барраба* представлено двумя зонами, в которых промышленная минерализация проявлена в форме прожилок мощностью до 2,5 см. Запасы руды Северной зоны 34 млн. т, Южной зоны – 7,1 млн. т. В пределах Северной зоны, где отношение вскрыши к продуктивной толще составляет 2,73:1, с 1972 г. действуют карьер и обогатительная фабрика. Месторождения хризотил-абеста известны и в других районах Австралии. Доказанные его запасы по стране в целом составляют 3 млн. т.

ФЛОГОПИТ

К позднему девону относится формирование *Ковдорского* месторождения (СССР), расположенного на Кольском полуострове. Оно приурочено к интрузивному массиву ультраосновных и щелочных пород площадью около 40 км^2, средний абсолютный возраст которых, по последним данным В. А. Кононовой, определен в 400–395 млн. лет. Ядро его сложено оливинитами, окруженными кольцом слюдяно-пироксеновых пород, сменяющихся к периферии мелилитовыми и монтичеллитовыми породами. Промышленная концентрация флогопита приурочена к апатит-флогопит-оливоновым и амфибол-диопсидовым породам и к флогопитизированным и диопсидированным оливинитам, образующим полукольцо между оливинитами центрального ядра и комплексом мелилитовых и монтичеллитовых пород. Продуктивные

породы развиты на протяжении 5000 м и прослеживаются на глубину до 800 м.

Флогопит Ковдорского месторождения характеризуется крупными размерами, высоким качеством и пригоден для производства всех электроизоляционных слюдяных изделий. Содержание его в рудах колеблется в весьма широких пределах и в среднем достигает сотен килограммов на 1 м^3 породы. До глубины 8–90 м от поверхности на месторождении развита кора выветривания, в пределах которой в зависимости от степени изменения флогопита выделяются зоны: сунгулит-гидрохлоритовая, вермикулитовая и гидрофлогопитовая. Практический интерес представляет вермикулитовая зона, мощность которой в пределах главной залежи месторождения изменяется от 3–5 до 30 м.

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭПОХА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Мезозойская эра, начавшаяся, согласно шкале абсолютного возраста, 225 млн. лет назад, включает три периода: триасовый – 40 млн. лет, юрский – 45 млн. лет и меловой – 70 млн. лет.

В течение мезозойской эры проявилось несколько фаз складчатости. Первая из них – древнекиммерийская – проявилась в конце триаса и начале юры преимущественно на юге Европы, в Индокитае и на северо-востоке Азии. Новокиммерийская складчатость приурочена к концу юры, и наиболее отчетливые ее следы сохранились в геосинклинальных областях, окружающих Тихий океан, – Кордильерской и Восточно-Азиатской.

В Восточно-Азиатской геосинклинальной области интенсивные орогенические движения происходили в триасе и поздней юре и возобновились во второй половине раннего мела. С позднеюрской и раннемеловой фазами складчатости, объединяемыми в Китае под общим названием иеншанской (яньшанской), связаны интенсивная магматическая деятельность и исключительно богатые и разработанные рудные образования. В Кордильерской геосинклинали наиболее интенсивные орогенические движения проявились в конце юры (невадская складчатость) и в позднем мелу (ларамийская складчатость) и также сопровождались мощными проявлениями магматизма и эндогенной минерализации.

Менее интенсивные складчатые движения (австрийская складчатость) происходили в середине мелового периода в области Средиземноморской геосинклинали.

В течение мезозойской эры образовались многочисленные месторождения различных видов минерального сырья. Большое экономическое значение имеют мезозойские месторождения нефти, угля, железных руд, олова, молибдена, вольфрама, сурьмы, ниобия и алмазов, удельный вес которых в мировых запасах и добыче значителен; представляют практический интерес также месторождения бокситов, редкометалльных и фосфатоносных карбонатитов, свинца, цинка и золота. Месторождения других видов минерального сырья характеризуются сравнительно небольшими размерами и имеют только местное значение (табл. 6).

Географическое размещение главнейших мезозойских месторождений полезных ископаемых отличается большой неравномерностью; основные минеральные богатства сосредоточены в Азии.

Крупнейшие в мире месторождения нефти и газа приурочены к юрским и меловым отложениям Аравийского полуострова; разработка их обеспечивает большую часть мировой добычи этих полезных ископаемых.

Крупные мезозойские месторождения нефти и газа известны в Канаде, США и Мексике. Сравнительно небольшие месторождения раз-

Таблица 6

Распределение мезозойских доказанных запасов и добычи (производства) важнейших видов минерального сырья развитых капиталистических и развивающихся стран по региону

Полезные ископаемые	Всего		Западная Европа		Азия		Северная Америка		Центральная и Южная Америка		Африка		Австралия и Океания	
	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча
Нефть, млрд. т	50,2	1,14	1,8	0,07	38,9	0,79	6,5	0,16	0,6	0,08	2,3	0,04	0,1	–
Газ, млрд. $м^3$	18461	342	2280	74	9943	30	3260	213	745	16	1762	5	471	4
Уголь, млрд. т	38	0,20	–	–	3	–	32	0,20	3	–	–	–	–	–
Уран*, тыс. т	257	7,30	–	–	–	–	220	7,30	15	–	22	–	–	–
Железные руды, млн. т	4280	38,48	3150	32,30	120	0,53	–	–	–	–	1010	5,65	–	–
Алюминий (бокситы), млн. т	795	5,58	655	5,08	140	0,50	–	–	–	–	–	–	–	–
Медь, млн. т	*16,7*	*0,50*	–	–	*1,7*	*0,05*	*14,0*	*0,43*	–	–	*1,0*	*0,02*	–	–
Никель, тыс. т	600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	600	–	–	–
Свинец, млн. т	6,7	0,39	2,0	0,11	1,1	0,06	–	–	–	–	3,6	0,22	–	–
Цинк, млн. т	13,5	0,64	3,9	0,23	4,4	0,30	–	–	–	–	5,2	0,11	–	–
Олово, тыс. т	1797	127,68	–	–	1797	127,68	–	–	–	–	–	–	–	–
Вольфрам, тыс. т WO_3	635	9,77	–	–	146	6,28	459	2,01	30	1,48	–	–	–	–
Молибден, тыс. т	445	14,91	–	–	5	0,78	440	14,13	–	–	–	–	–	–
Сурьма*, тыс. т	550	13,36	–	–	150	1,94	70	1,67	–	–	330	9,75	–	–
Фосфориты и апатиты, млн. т	2771	12,71	6	0,01	1400	7,94	200	0,26	855	3,66	310	0,84	–	–
Калийные соли*, млн. т	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	–	–
Плавиковый шпат, млн. т	44,2	0,51	15,9	0,21	19,3	0,19	–	–	–	–	9,0	0,11	–	–

* Даны общие запасы.

рабатываются в странах Южной Америки, Западной Европы, в КНР, Японии, Индонезии. Месторождения нефти и газа установлены в мезозойских отложениях Северной Африки. Промышленные проявления нефти установлены в последнее время в юрских отложениях Северного моря.

В СССР мезозойские нефтегазовые отложения развиты в районах Кавказа, Украины, Средней Азии, Казахстана и Сибири.

В Канаде к свите мак марри нижнего мела приурочено месторождение битуминозных песчаников Атабаска, достоверные запасы которого оцениваются в 75–100 млрд. т, а извлекаемые в 35–60 млрд. т. В стране разведан ряд других месторождений верхнемезозойских битуминозных песчаников с более скромными запасами нефти (Колд-Лейк – 13–22 млрд. т, Уобаска – 7 млрд. т и Пис-Ривер – 4 млрд. т).

Основные ресурсы угля мезозойского возраста сосредоточены в бассейнах Восточной Сибири и КНР. К ним относится самый обширный в мире Ленский бассейн, геологические запасы которого до глубины 600 м оцениваются в 1,6 трлн. т. Значительные ресурсы углей заключены также в мезозойских отложениях Северной Америки.

К мезозою относятся многочисленные месторождения урано-ванадиевых руд плато Колорадо в США, а также ряд месторождений урана Аргентины, Нигера и Новой Зеландии, если исходить из сингенетически-осадочного их происхождения.

Почти все общие и достоверные запасы мезозойских железных руд сосредоточены в месторождениях Западной Европы и Советского Союза и представлены главным образом морскими осадочными оолитовыми рудами. К числу наиболее крупных железорудных бассейнов относятся Лотарингский бассейн во Франции, на котором годовая добыча превышала 50 млн. т руды, и Колпашевский бассейн в Западной Сибири с общими геологическими запасами руд в десятки миллиардов тонн. К верхнему мелу предположительно относятся железорудные месторождения замещения в известняках (тип Бильбао), разрабатываемые в Испании, Алжире, Марокко и Тунисе.

Практическое значение имеют месторождения гидротермальных магно-магнетитовых руд, часто приуроченных к вулканическим трубкам взрыва и генетически связанных с траповой магмой Сибирской платформы. Наиболее крупные из этих месторождений сосредоточены в Ангаро-Илимском районе.

К песчано-глинистым отложениям нижнего мела приурочены марганцевые руды бассейна Грут-Айленд в Австралии. Известные в других странах мезозойские месторождения марганца практического интереса не представляют.

Сравнительно небольшое значение имеют месторождения хромитов, известные в Южной Европе (Югославия, Греция, Албания, Болгария) и в ряде стран Западного полушария (Куба, США, Бразилия).

Большинство промышленных месторождений бокситов мезозойского возраста сосредоточено в южной части Европы – во Франции, Италии, Греции и Венгрии. Сравнительно небольшие месторожде-

ния бокситов этого возраста известны в Турции, Иране, Индии и на островах Малайского архипелага. Промышленные месторождения высококачественных бокситов открыты в северной части Вьетнама. В СССР наиболее интересные месторождения мезозойских бокситов расположены в Казахстане.

Широко распространены мезозойские месторождения меди, представленные разнообразными генетическими типами, в Канаде, КНР, Японии, США (Аляска, Калифорния), Южной Африке. В СССР мезозойские месторождения медноколчеданных руд развиты в пределах Малого Кавказа, а медно-никелевых руд – в Восточной Сибири. К мезозою, вероятно, относятся открытые недавно в Омане месторождения медноколчеданных руд, запасы которых, по прогнозной оценке, превышают 80 млн. т при содержании примерно 3% меди.

Ограниченно распространены полиметаллические месторождения мезозойского возраста, наиболее многочисленные из которых расположены в Восточном Забайкалье. Остается неясным вопрос о возрасте так называемых телетермальных месторождений свинца и цинка, приуроченных к известнякам и доломитам триаса в Польше, триаса и юры в Испании, в связи с тем, что генезис этих месторождений достоверно не установлен.

Огромное значение имеют мезозойские месторождения олова КНР и Малаккской оловоносной провинции, включающей территорию Бирмы, Таиланда, Малайзии и Индонезии. За их счет в кайнозое образовались оловоносные россыпи, в которых заключена основная часть мировых ресурсов олова; именно они являются главными поставщиками этого сырья на мировой рынок. Страны Малаккской провинции обладают также значительными запасами вольфрама, но особенно крупные ресурсы его сосредоточены в КНР и Южной Корее. Значительные запасы вольфрама содержатся в месторождениях шеелитоносных скарнов США.

Почти все заслуживающие внимания мезозойские месторождения молибдена расположены в Азии – в КНР и СССР, а также в Канаде.

В мезозойских месторождения КНР и ЮАР заключена бóльшая часть мировых ресурсов сурьмы. В КНР известны также мезозойские промышленные месторождения ртути.

Большое практическое значение в последние годы приобрели месторождения карбонитов, содержащие промышленные концентрации пирохлора и апатита. Значительная часть их связана с мезозойским магматизмом и сосредоточена в южной части Африки – Танзании, Мозамбике, Уганде, Малави и Зимбабве. К мезозойскому возрасту относятся также крупные месторождения карбонатитов в Бразилии и США.

С позднеюрскими или нижнемеловыми интрузиями гранитоидов пространственно и, вероятно, генетически связаны многочисленные месторождения золота прибрежных тихоокеанских районов Северной Америки, золотоносного пояса Северо-Востока СССР, Алданского щита и золотомолибденового пояса Забайкалья, обычно ассоциирующиеся с комплексом малых интрузий. В Восточном Забайкалье

известны также верхнемеловые промышленные месторождения золота, формирование которых происходило в платформенных близповерхностных условиях, вне пространственной связи с интрузивными породами.

С кимберлитовым вулканизмом, проявлявшимся в течение всей мезозойской эры, особенно в триасе и, возможно, в начале юры, связано формирование алмазоносной провинции Северо-Востока Сибирской платформы. В конце верхнего мела, вероятно, образовалась часть кимберлитовых трубок крупнейшей в мире алмазоносной провинции Африки.

Большой практический интерес представляют месторождения плавикового шпата, широко распространенные в Восточном Забайкалье, Монголии, КНДР и КНР. Они представлены исключительно высокосортными рудами, часто целиком сложенными крупнокристаллическим флюоритом при незначительной примеси кварца. Возможно, к мезозою следовало бы отнести месторождения плавикового шпата ЮАР, возраст которых с большой долей условности определен как докембрийский.

НЕФТЬ И ГАЗ

Мировое значение имеют мезозойские месторождения нефти и газа. Крупнейшие ресурсы заключены в нефтегазоносных отложениях Азии, которые развиты в восточной краевой части Аравийской платформы, примыкающей к Месопотамской предгорной впадине, на территории Саудовской Аравии, Кувейта, Нейтральной зоны, Бахрейна и Южного Ирака. Здесь сосредоточены наиболее продуктивные залежи и значительная часть (около 50%) разведанных запасов нефти капиталистических и развивающихся стран. Особенно велики достоверные запасы нефти Саудовской Аравии (22,0 млрд. т) и Кувейта (9,6 млрд. т), включая по 50% запасов Нейтральной зоны. Большинство месторождений отличается исключительно высокой продуктивностью. В 1981 г. среднесуточная добыча на одну скважину достигала в Саудовской Аравии 1582 т, в Кувейте – 206 т, в Катаре – 422 т.

В мезозойских месторождениях Аравийского полуострова заключены также крупные ресурсы попутного газа, разведанные запасы которого оцениваются в 993 млрд. м^3 в Кувейте, в 2048 млрд. м^3 в Саудовской Аравии и 2832 млрд. м^3 в Катаре. Ежегодно в этих районах попутно с нефтью добывается 15–20 млрд. м^3 газа. Кроме того, в ряде районов выявлены собственно газовые месторождения, но в связи с отсутствием местных потребителей газ почти не используется и даже при эксплуатации нефтяных месторождений безвозвратно теряется.

Продуктивные горизонты этой богатейшей нефтегазоносной провинции связаны с трещиноватыми, местами рифовыми известняками юры, а также с карбонатными породами, песками и песчаниками верхнего и нижнего мела. В месторождениях Саудовской Аравии и Катара наиболее богатые горизонты приурочены к верхнеюрским трещинова-

тым, иногда кавернозным известнякам с прослоями ангидрита, глинистых сланцев и глин, слагающими так называемую Аравийскую зону. На территории Саудовской Аравии нефтеносны и карбонатные отложения средней юры, а также установлена нефтегазоносность отложений триасы и перми.

Основные ресурсы нефти и газа в Кувейте, Нейтральной зоне и Южном Ираке заключены в терригенной толще свит вазиа и зубаир верхнего (турон – сеноман) и нижнего (альб –апт) мела. В ряде мест нефтеносны также карбонатные отложения верхнего и нижнего мела.

Все месторождения этой провинции представлены структурными залежами платформенного типа и приурочены к пологим антиклинальным структурам, протяженность которых обычно колеблется от 10 до 40 км, но иногда составляет 100–200 км.

Из 20 известных за рубежом месторождений с первоначально извлекаемыми запасами нефти 1000 млн. т и более, суммарные запасы которых составляют 56,7 млрд. м^3, 12 месторождений расположены в пределах территории Саудовской Аравии, Кувейта, Нейтральной зоны и Южного Ирака.

В Саудовской Аравии самое крупное месторождение – *Гхавар*. Длина антиклинальной структуры этого месторождения достигает 225 км, ширина – от 16 до 25 км. Основные продуктивные горизонты представлены трещиноватыми известняками аравийской зоны (верхняя юра), среди которых выделяются четыре горизонта (А, В, С, Д), разделенных пластами ангидрита. Почти все запасы нефти заключены в органогенных, местами доломитизированных, трещиноватых известняках горизонта Д, залегающих на глубинах от 1500 до 1740 м. Эффективная мощность горизонта составляет в среднем 40–45 м. Все скважины фонтанируют. Начальный дебит их изменяется от 750 до 1500 т/сут. Ежегодно добывается около 200 млн. т нефти. Начиная с 1950 г., на месторождении добыто примерно 2500 млн. т нефти, а начальные извлекаемые ее запасы оцениваются в 11 925 млн. т.

К числу других месторождений Саудовской Аравии, первоначальные запасы которых превышают 1000 млн. т, относятся *Абкаик* (1700 млн. т), *Манифа* (1570 млн. т), *Катиф* (1270 млн. т) и *Хураис* (1045 млн. т). Значительными начальными запасами нефти в стране располагают также месторождения *Абу-Сафа* и *Хурсания* (по 930 млн. т), *Берри* (850 млн. т) и *Даммам* (800 млн. т). Наиболее крупное из них месторождение Абкаик приурочено к антиклинальной складке длиной около 70 км и шириной от 10 до 20 км. Нефтеносны юрские карбонатные отложения, залегающие в интервале глубин 1856–2103 м. Начальные дебиты скважин достигли 2000 т/сут. С 1941 г. здесь добыто примерно 750 млн. т нефти. Годовая добыча превышает 35 млн. т.

Крупнейшим морским месторождением представляется *Сафания-Хафджи*, приуроченное к шельфу Аравийской платформы в пределах побережья Саудовской Аравии и Нейтральной зоны. Месторождение представлено антиклинальной складкой, в которой продуктивными

являются песчаники мелового возраста, залегающие на глубине 1524–1676 м. Оно открыто в 1953 г., и до 1980 г. на нем добыто около 1800 млн. т нефти; годовая добыча превышает 50 млн. т. Начальные извлекаемые запасы нефти составляли 3570 млн. т.

В Саудовской Аравии в 1980 г. добыто 490,3 млн. т нефти и произведено 10,2 млрд. м^3 товарного газа, из них около 50% газа в Нейтральной зоне.

Бóльшая часть ресурсов нефти К у в е й т а заключена в двух месторождениях – *Бурган* и *Магва-Ахмади*, приуроченных к единому поднятию, осложненному несколькими локальными куполами (рис. 75). Здесь в сеноманских отложениях установлены четыре продуктивных горизонта. Первый и второй горизонты (средней эффективной мощностью соответственно 20 и 8 м) сложены тонкозернистыми песчаниками свиты вар (сеноман). Третий и четвертый горизонты, эффективная мощность которых соответственно достигает 70 и 150 м, представлены хорошо отсортированными средне- и крупнозернистыми песчаниками с подчиненными прослоями глин толщи бурган свиты вазиа (сеноман). Последние два горизонта обеспечивают до 90% всей добычи страны. Площадь месторождения Бурган составляет 308 км^2, а месторождения Магва-Ахмади – 420 км^2, средняя глубина залегания продуктивных горизонтов – 1663 м. Первоначально извлекаемые запасы нефти 10 500 млн. т. Промышленная нефть установлена здесь в 1938 г., и до 1980 г. добыто ее около 2800 млн. т. Нефть содержит 1–2% серы.

Сравнительно крупным в Кувейте является месторождение *Сабрия*, продуктивные горизонты которого представлены песчаниками свит забаир и бурган (нижний мел), залегающими на глубине 2438 м. Начальные его запасы нефти оцениваются в 550 млн. т.

Добыча нефти в стране в 1980 г. (с учетом части добычи в Нейтральной зоне) составила 81,4 млн. т и газа – 6,3 млрд. м^3.

В К а т а р е основной источник добычи нефти – месторождение *Дукхан*, приуроченное к крупной антиклинальной складке (85 х 10 км) с углами падения на крыльях 15–17°; оно включает два продуктивных горизонта Аравийской зоны, отделенных друг от друга пластом ангидрита мощностью до 20 м. Эффективная мощность их равна соответственно 25 и 58 м, глубина залегания колеблется от 1400 до 2300 м.

В последнее время в Катаре открыт ряд месторождений нефти и газа под водой, примерно в 100 км от материка. Нефтеносны здесь меловые и юрские отложения, залегающие на глубинах 1400–2400 м. В Персидском заливе у побережья Катара открыто в 1976 г. месторождение газа, достоверные запасы которого оцениваются в 1130 млрд. м^3.

На начало 1981 г. запасы нефти Катара оценивались в 491 млн. т, а запасы газа в 1848 млрд. м^3. Годовая добыча нефти в последнее время примерно составляет 24 млн. т, а товарного газа – 3 млрд. м^3; число продуктивных скважин достигает 139.

Продуктивные горизонты месторождения *Бахрейн*, расположенного на одноименном острове, приурочены к трещиноватым известнякам верхней части свиты (мел), залегающим на глубинах 700–850 м.

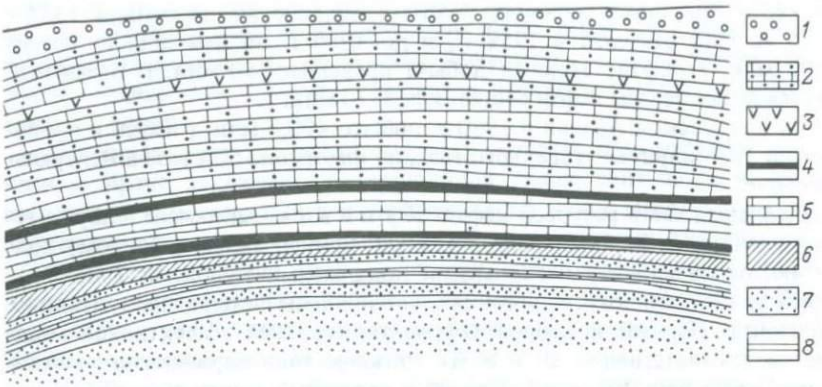


Рис. 75. Схематический разрез месторождения Бурган:

1 – миоценовые отложения; *2, 3* – отложения олигоцена – эоцена: *2* – известняки, *3* – ангидрит; *4–8* – отложения верхнего мела: *4* – глинистые сланцы, *5* – известняки, *6* – кепроковые глинистые сланцы, *7* – песчаные продуктивные горизонты, *8* – глинистые сланцы

Они установлены на площади около 50 км^2, в пределах которой общая мощность продуктивных отложений не превышает 30–35 м. Средний начальный дебит скважин составляет 200–300 т нефти, но нередко достигает и 800 т.

Достоверные запасы нефти Бахрейна на начало 1981 г. составляли всего 29 млн. т, а добыча ее снизилась с 3 млн. т в 1975 г. до 2,4 млн. т в 1980 г. Запасы газа оценивались в 280 млрд. м^3, а производство товарного газа возросло с 2,1 млрд. м^3 в 1975 г. до 2,8 млрд. м^3 в 1980 г. К карбонатным отложениям Аравийской зоны на глубине около 3000 м приурочены залежи газа.

Крупные месторождения нефти мезозойского возраста расположены в южной части И р а к а, на северном продолжении нефтегазоносной области Кувейта. Здесь по запасам выделяется месторождение *Зубаир*, приуроченное к антиклинальной складке платформенного типа длиной около 80 км при ширине 12 км. Два основных продуктивных горизонта этого месторождения (III и IV), представленных песками и слабо сцементированными песчаниками свиты зубаир (верхний мел), залегают на глубине 3000–3500 м. Нефтеносны здесь также известняки верхнего мела (сеноман) и нижнего миоцена.

Начальные запасы месторождения составляют 560 млн. т нефти, а годовая ее добыча 3,7 млн. т. Другое крупное месторождение Ирака – *Румайла*, открытое в 1953 г. в пределах Аравийской платформы, также приурочено к антиклинальной складке и представлено продуктивными песчаниками мелового возраста, залегающими на глубине 3200–3292 м. Первоначально извлекаемые запасы нефти составили 710 млн. т.

Залежи нефти мелового возраста известны в ряде месторождений Месопотамской предгорной впадины, где коллекторами служат карбонатные отложения верхнего и нижнего мела.

В северной части Ирака нефтеносность этих отложений установлена на одном из крупнейших в мире месторождений *Киркук*, где основные запасы нефти сосредоточены в высокопродуктивных горизонтах третичного возраста. Известен также ряд месторождений, продуктивные горизонты которых приурочены к известковой толще (сенон) верхнего мела и юры. На месторождении *Бутмах* из верхнемеловых продуктивных горизонтов, залегающих на глубине 1500 м, в 1958 г. извлекалось ежесуточно около 2300 т нефти при эксплуатации только четырех скважин. На глубине 3000 м здесь вскрыта нефтяная залежь в юрских отложениях. Нефтеносность верхнемеловых отложений обнаружена также в ряде месторождений правобережья р. Тигра, в которых верхние продуктивные горизонты приурочены к известнякам миоцена. С учетом кайнозойских месторождений достоверные запасы нефти Ирака на начало 1981 г. составляли 4583 млн. т и газа 715 млрд. м^3. Добыча нефти снизилась с 173,9 млн. т в 1979 г. до 125,7 млн. т в 1980 г.; годовое производство природного газа сохраняется на уровне 1,8 млрд. м^3.

В пределах Месопотамской впадины промышленная нефтеносность установлена в отложениях мела и юры на территории И р а н а, но основные его ресурсы нефти и газа заключены в асмарийских известняках кайнозоя.

Ряд сравнительно богатых нефтегазовых месторождений открыт и освоен промышленностью на шельфе Персидского залива у побережья Арабских Эмиратов. Продуктивны отложения свит мишриф и илам верхнего мела и тамама нижнего мела. Суточный дебит многих скважин составляет сотни тонн, а иногда превышает 1500 т нефти.

В Т у р ц и и в пределах нефтегазоносного бассейна расположено одно из старейших месторождений нефти, приуроченное к известнякам маастрихта (верхний мел) и формации гермэв палеоцена, залегающим на глубине свыше 1000 м. Месторождение давало бóльшую часть нефти в стране. Известен еще ряд мелких месторождений нефти мезозойского возраста. Достоверные запасы нефти в стране оцениваются в 20 млн. т, годовая ее добыча примерно 2,8 млн. т, а производство товарного газа – 100 млрд. м^3.

Ряд меловых месторождений нефти мезозойского возраста разведан и разрабатывается в И з р а и л е. Среди них наиболее крупным представлялось месторождение *Хелец*, приуроченное к песчаникам нижнего мела. В 1960 г. достоверные запасы его оценивались в 4,1 млн. т нефти, а годовая добыча достигла 355 тыс. т. С 1962 г. разрабатывалось также месторождение *Кохав*, приуроченное к известнякам и доломитам, аналогичным образованиям асмарийской свиты Ирана. Добыча нефти в стране возросла с 40 тыс. т в 1975 г. до 700 тыс. т в 1978 г.

Месторождения нефти С и р и и расположены в северной части нефтегазоносного бассейна Персидского залива и представлены массивными известняками позднемелового возраста, залегающими на глубине от 1700 до 2000 м. Достоверные запасы нефти оцениваются в 189 млн. т. Добыча ее составляет порядка 10 млн. т, а производство товарного газа 0,2 млрд. м^3.

В пределах восточных районов Азии мезозойские нефтеносные отложения распространены ограниченно. Промышленные скопления нефти и газа в породах этого возраста обнаружены за последние годы в ряде районов КНР. В Джунгарской впадине нефтеносные залежи вскрыты в отложениях верхнего триаса и юры. В Сычуаньской впадине доказана промышленная газоносность триасовых отложений (по отдельным скважинам свободные дебиты газа достигают 300–700 тыс. $м^3$/сут), а также получены фонтаны нефти из отложений верхней юры. В провинции Шаньси разрабатываются месторождения, продуктивные горизонты которых представлены песчаниками триаса.

В МНР промышленная нефтеносность приурочена к отложениям нижнего мела.

Промышленная нефтегазоносность триасовых отложений установлена также в Северном Афганистане.

Нефтеносность юрский отложений установлена на о. Церам (Индонезия), меловых отложений – на о. Новая Гвинея, средне- и верхнемеловых отложений в месторождениях о. Хоккайдо (Япония).

Широко распространены месторождения нефти и газа в мезозойских отложениях Западного полушария, но здесь, несмотря на их значительный удельный вес в запасах и добыче, они имеют меньшее значение, чем палеозойские и кайнозойские месторождения.

В Канаде из 844 млн. т достоверных запасов нефти, числившихся к началу 1981 г., и 2492 млрд. $м^3$ газа бóльшая часть (свыше 60%) заключена в меловых отложениях провинций Альберта и Саскачеван, приуроченных к областям депрессий, лежащим между Кордильерами и Канадским щитом.

Среди меловых отложений нефтегазоносность установлена в ряде свит, сложенных песчаниками с прослоями глин; наиболее продуктивны из них песчаники свиты кардиум (верхний мел). Эффективная мощность песчаников колеблется от 2 до 10 м, а средняя пористость – от 16 до 20%.

К песчаникам кардиум, залегающим на глубине 1500–1600 м, приурочены продуктивные горизонты наиболее крупного в Канаде месторождения *Пембина.* Только оконтуренная скважинами часть нефтеносной площади этого месторождения прослеживается на 86,4 км в длину и около 26 км в ширину. Мощность свиты кардиум составляет в среднем 25–30 м, а эффективная мощность продуктивных песчаников 8–10 м. Нефтегазоносны здесь также песчаники нижнего мела, юры и карбонатные породы нижнего карбона. Начальные извлекаемые запасы нефти на месторождении Пембина составляют 100 т нефти в сутки. Месторождение представлено типичными литологическими залежами, которые располагаются в зонах выклинивания песчанистых горизонтов. Суммарная добыча нефти составила 125 млн. т.

Вблизи месторождения Пембина в 1977 г. открыто два новых нефтяных месторождения – *Западная* и *Северная Пембина.* Нефтеносные меловые отложения, залегающие на глубине 2743–5000 м, приурочены к девонским рифам. Дебит скважины колеблется от 200 до 400–500 т

в сутки. По предварительным данным, извлекаемые запасы этих месторождений оцениваются в 130–260 млн. т.

Промышленная нефтеносность меловых отложений установлена в ряде других районов Канады. В провинции Альберта на месторождении *Жофр* нефть добывается с глубины 1460–1580 м из верхнемеловых песков свиты колорадо, мощность которых колеблется от 3 до 7,5 м. В провинции Саскачеван на месторождении *Смайли* наиболее продуктивные горизонты приурочены к нижнемеловым песчаникам свиты викинг, залегающим на размытой поверхности палеозойских пород. На месторождении *Фостертон* нефтеносными оказались песчаники свиты вангвард (нижний мел и юра). Средняя мощность нефтенасыщенной части пласта 10,6 м. Извлекаемые запасы этих месторождений сравнительно невелики и не превышают 20 млн. т.

В последнее время в северной части Скалистых гор выявлен наиболее глубокий в стране газоносный бассейн, в пределах которого выделяется крупнейшее месторождение *Элсуорт* с 45 продуктивными горизонтами в отложениях от пермского до мелового возраста. В 1980 г. до данным 600 пробуренных скважин его потенциальные запасы оцениваются в 12,5 трлн. м^3 газа, а извлекаемые – в 1,4 трлн. м^3. Годовая добыча газа на месторождении может составить 170 млрд. м^3.

В арктической части Канады в районе месторождения Кинг-Христиан открыт ряд месторождений, газоносность которых связана с юрскими отложениями.

В провинции Альберта большой научный и практический интерес представляют колоссальные скопления нефтяных битумов в песчаниках свит мак-марр и мернивилл (нижний мел) в районе р. *Атабаски*, где они подстилаются девонскими известняками и прослеживаются на 170 км в длину и около 55 км в ширину. Мощность песчаных отложений и степень их насыщенности нефтяными битумами весьма изменчивы. Мощность колеблется от нескольких метров до 70 м. Содержание битумов составляет в среднем около 20%. Встречаются прослои почти чистого твердого битума мощностью до 4–6 м. Характерно, что битум не заполняет поры песков, а только обволакивает их зерна. Это, несомненно, одно из крупнейших в мире месторождений нефтяных битумов. Оно начало разрабатываться открытым способом в 1967 г. Годовое производство нефти составляет около 5 млн. т. Разведан ряд других аналогичных месторождений в провинции Альберта. Суммарные потенциальные извлекаемые ресурсы жидких углеводородов в песчаниках оценивались в 12,4 млрд. т.

В С Ш А крупнейшими источниками нефти и газа являются меловые отложения, распространенные в северном и северо-западном бортах *Примексиканской впадины*. Здесь к отложениям верхнемелового возраста приурочено одно из наиболее крупных месторождений нефти США – *Восточно-Техасское* (Ист-Техас). Литолого-стратиграфическая залежь этого месторождения находится на глубине около 1000–1200 м и состоит из нескольких нефтегазоносных песчаных горизонтов, разделенных прослоями глин и глинистых сланцев. Средняя

эффективная мощность продуктивных песков – около 9 м. Они характеризуются высокой проницаемостью, обусловливающей большие начальные дебиты скважин. Площадь месторождения превышает 50 000 га. С 1930 по 1960 г. на нем уже добыто свыше 500 млн. т нефти, а оставшиеся достоверные запасы оценивались в 250 млн. т.

С верхнемеловыми отложениями связано также одно из крупнейших в США месторождений природного газа *Монро*. Основные газоносные горизонты приурочены к песчаным коллекторам, распространенным на площади около 900 км^2. Они залегают на глубине 600–900 м, мощность их колеблется от 1–2 до 20–25 м. Начальные дебиты скважин изменяются от 50 тыс. м^3 до 1,5 млн. м^3 при начальных пластовых давлениях 7–8 МПа.

Основная добыча нефти и газа в этом районе производилась из литолого-стратиграфических залежей, хотя здесь известны многочисленные и сравнительно крупные структурные залежи, приуроченные к пологим брахиантиклинальными и куполовидным поднятиям платформенного типа. Нефтегазоносны преимущественно песчанные горизонты верхнего мела и реже карбонатные коллекторы нижнего мела и юры.

В пределах Примексиканской впадины, помимо штата Техас, месторождения нефти и газа мезозойского возраста известны также на территории штатов Миссисипи, Алабама и Флорида. Здесь основные продуктивные горизонты приурочены главным образом к меловым песчаным и карбонатным отложениям и реже к юрским. Все эти месторождения, за редким исключением, характеризуются сравнительно небольшими размерами, и запасы нефти в них обычно не превышают 10–15 млн. т. Встречаются месторождения, в которых скопления нефти обнаруживаются на выветрелых участках серпентинитовых массивов. В ряде разрабатываемых нефтяных месторождений Калифорнии продуктивные горизонты представлены юрскими метаморфическими сланцами. Предполагают, что нефть в них мигрировала из вышележащих третичных нормальных осадочных отложений.

Широко проявлена мезозойская нефтегазоносность в *Скалистых горах*, в пределах штатов Колорадо, Монтана, северо-западной части Нью-Мексико, Вайоминг и Дакота. Основные нефтевмещающие коллекторы – песчаники позднемелового возраста. Глубина залегания нефтеносных горизонтов изменяется от 300 до 1200 м. В нефтяных месторождениях штата Монтана основные мезозойские продуктивные горизонты относятся к свите эллис юрского возраста, представленной сланцами, песчаниками и известняками. Глубина залегания нефтяных горизонтов колеблется от 300 до 600 м.

В нефтегазоносной провинции Скалистых гор выявлено и разрабатывается несколько сотен месторождений, среди которых есть ряд крупных, с запасами нефти до 200 млн. т, а иногда и более. Крупные и богатые месторождения приурочены к более погруженным прибортовым частям впадин, сравнительно отдаленным от горных складчатых сооружений.

Мелкие месторождения нефти и газа мезозойского возраста, ранее известные на Аляске, существенного значения ни в запасах, ни в добыче не имели. Только в 1967 г. на ее севере в бассейне р. Колвилл открыто богатейшее месторождение *Прудхо-Бей*, начальные запасы нефти которого оцениваются в 2860 млн. т. Основными продуктивными отложениями являются песчаники свиты купарук-ривер (нижний мел), залегающие на глубине 2028–2118 м, и прудхо-бей, залегающие на глубине 2430–2605 м.

Много новых, сравнительно небольших месторождений нефти и газа мезозойского возраста открыто в 70-х годах в различных штатах США. На севере центральной части штата Юта и в юго-восточной части штата Вайоминг в поясе надвигов установлено, что помимо ранее известных месторождений, приуроченных к юрским отложениям, широко развиты месторождения, в которых продуктивны на нефть и газ также отложения триаса и перми. Ряд этих месторождений отличается высокими дебитами нефти и газа. Предполагают, что перспективы пояса надвигов расширяются к северу в пределы штатов Айдахо и Монтана.

Мезозойские нефтегазоносные залежи, известные в Мексике, сосредоточены в прибрежной равнине Мексиканского залива, в пределах которой выделяются четыре зоны: Центральная (Тампико), Северо-Восточная (являющаяся продолжением нефтеносной зоны юго-востока Техаса в США), Веракрус и Южная (Истмас-Табаско).

Продуктивные горизонты мезозойского возраста расположены в Центральной зоне („Золотом поясе"), зоне Веракрус и представлены известняками меловой и юрской систем. Особенно высокой продуктивностью отличаются карбонатные коллекторы мелового возраста, которые составляют основу наиболее крупных месторождений страны, таких, как *Голден-Лейк*, *Пануко-Какали-Лао* и др., с достоверными запасами нефти, превышающими 100 млн. т. Нефтеносные известняки залегают на глубинах 500–2500 м.

Открытое здесь в последнее время крупное месторождение *Атун* приурочено к известнякам эль-абра среднего мела, залегающим на глубине 2700–3000 м. Длина месторождения 20 км, а ширина 1,5 км.

Весьма крупный нефтегазоносный район Ла-Реформа выявлен в последние годы в Мексике в штатах Чьяпас и Табаско. Продуктивны юрские и меловые отложения, средняя мощность которых составляет 1000 м, а максимальная – 3000–5000 м. Прогнозные запасы нефти 26 разбуренных структур превышают 4,1 млрд. т, а неразбуренных участков не менее 4 млрд. т. Достоверные запасы определены в 280 млн. т и вероятные – в 560 млн. т; разработка этих месторождений обеспечивает половину добычи нефти в стране.

В 1978 г. опубликовано сообщение об открытии вблизи городов Темпико и Мисантла на Атлантическом побережье страны одного из крупнейших в мире месторождений *Чиконтепек*. Предполагаемые запасы нефти, расположенные на площади длиной 120 км и шириной 28 км, оцениваются в 14 млрд. т, а природного газа – в 1,1 трлн. м^3.

Добыча нефти в Мексике с учетом разрабатываемых месторожде-

ний кайнозоя возросла с 36,9 млн. т в 1975 г. до 96,8 млн. т в 1980 г., а годовое производство товарного газа – с 17 млрд. до 32 млрд. м^3.

Мелкие месторождения нефти, приуроченные к меловым осадочным отложениям и залегающим на контакте с ними серпентинитам, разрабатываются на К у б е.

В Южной Америке продуктивные горизонты верхнего мела известны на месторождениях В е н е с у э л ы, а в районе озера Маракайбо, где основные скопления нефти и газа сосредоточены в третичных отложениях, продуктивны также известняки нижнего мела. В стране около 30 млн. т нефти в год извлекается из отложений мелового возраста.

Ряд небольших месторождений нефти мезозойского возраста известен в Б р а з и л и и. Продуктивность месторождений континентальной части приурочена к песчаникам нижнего мела или юры, залегающим на глубинах 300–2400 м. В шельфовой зоне Атлантического океана нефтеносны песчаники верхнего мела. Достоверные запасы нефти в стране составляют 173 млн. т, годовая добыча ее превышает 8 млн. т и производство товарного газа – 600 млн. м^3.

Нижнемеловые нефтеносные отложения развиты в Ч и л и, в районе Огненной Земли. Наиболее крупное месторождения – *Керро-Манатипалис,* продуктивные горизонты которого залегают на глубине 2320 м.

В А р г е н т и н е промышленная нефтеносность мезозойских отложений установлена вблизи залива Сан-Хорхе, где разрабатывается ряд наиболее крупнейших месторождений страны. Песчаные коллекторы нефти располагаются на глубинах от 400 до 2100 м. С 1925 г. здесь добыто около 15 млн. т нефти. Залежи, приуроченные к песчаным отложениям юры и мела, разрабатываются также в других районах страны.

В П е р у, в бассейне р. Пачитеа, на глубине около 400 м выявлены залежи нефти в песчаных отложениях позднемелового возраста.

В Южной Америке нефтеносные мезозойские (меловые) отложения известны также в Б о л и в и и, К о л у м б и и, на о-ве Т р и н и д а д и в Э к в а д о р е, но здесь они, как правило, не образуют самостоятельных месторождений, залегая ниже третичных продуктивных горизонтов.

Месторождения нефти мезозойского возраста известны в различных районах Африки.

Сравнительно широко проявлена нефтеносность триасовых песчаников Сахары (А л ж и р). Продуктивные горизонты залегают на глубине до 2250 м. Большое значение имеет месторождение природного газа *Хасси-Рмель*, продуктивные горизонты которого, также представленные песчаниками триаса, располагаются на глубине 2100–2250 м. Начальные запасы газа оцениваются в 2000 млрд. м^3.

Крупные месторождения нефти, приуроченные к отложениям верхнего мела и палеоцена, разведаны в Л и в и и, на территории Киренаики. Нефтеносные горизонты позднемелового возраста залегают

на глубине 1600–2200 м и характеризуется высокой продуктивностью. В районе Дахра из девяти пробуренных скважин добывается около 2000 т нефти в сутки. В районе Уэд-Хебби крупные залежи газа установлены на глубинах 1000–1100 м в триасовых отложениях. Дебит газа отдельных скважин изменяется от 50 до 1000 тыс. м^3/сут.

Наиболее значительные запасы сосредоточены в месторождении *Нассер* (Цельтен, Зельтен), где продуктивными горизонтами являются известняки нижнего эоцена и рифогенные известняки верхнего мела, залегающие соответственно на глубинах 1100–1900 и 2500 м.

В Египте основные ресурсы нефти сосредоточены в нубийских песчаниках (нижний мел – карбон), развитых преимущественно в центральной части Синайского полуострова. Нефтеносные горизонты залегают на глубине от 500 до 1000 м. В последнее время в песчаниках этого возраста, развитых в пределах шельфа, выявлен ряд месторождений, на которых суточный дебит скважин достигает 380–350 т нефти. Достоверные запасы нефти и стране 480 млн. т и газа 85 млрд. м^3; в 1980 г. добыча нефти достигла 29 млн. т, а производство товарного газа – 2,2 млрд. м^3.

В Анголе добыча нефти (более 7 млн. т) осуществляется из нижнемеловых известняков с глубин 1500–2600 м. Достоверные ее запасы 200 млн. т. Ряд небольших месторождений нефти, приуроченных к песчаникам и трещиноватым глинам позднемелового и третичного возраста, обнаружен за последние годы в Габоне. Глубина нефтеносных горизонтов колеблется от 500 до 2000 м. В 1980 г. в Габоне добыто 8,8 млн. т нефти; достоверные ее запасы составляют 63 млн. т.

В Конго промышленная нефтеносность выявлена в районе порта Пуэнт-Нуар. Она приурочена к песчано-глинистым отложениям мелового возраста, залегающим на глубине около 250 м.

Сырьевая база нефтяной и газовой промышленности Австралии стала создаваться после открытия в 1961 г. месторождения нефти *Муни* в Квинсленде. Продуктивными оказались два горизонта комплекса пресипайз нижней юры, залегающие на глубине 1800–1850 м. Разведанные запасы нефти составляли 3,7 млн. т. Разработка месторождения началась в 1964 г., когда было добыто 0,2 млн. т нефти. Вблизи месторождения и в других районах, в том числе на шельфе, открыты новые месторождения, приуроченные преимущественно к мезозойским отложениям.

Достоверные запасы нефти Австралии составляют 250 млн. т, природного газа – 867 млрд. м^3. Добыча нефти составляет примерно 20 млн. т в год, а производство товарного газа – около 10 млрд. м^3.

Крупнейшим нефтегазоносным регионом Западной Европы стал бассейн Северного моря, доказанные запасы которого превышают 2 млрд. т нефти и 2100 млрд. м^3 газа. Большинство этих ресурсов заключено в отложениях мезозойского возраста. В Британском секторе промышленная газоносность месторождения *Хьюветт* связана с песчаниками и карбонатными породами бундзандштейна

(триас), залегающими на глубинах 900 и 1280 м. Начальные запасы месторождения оценивались в 120–140 млрд. м³.

К песчаникам доггера и лейаса приурочены месторождения *Брент, Корморант, Найниет* и др. К тем же отложениям в Норвежском секторе относится открытое в 1974 г. нефтегазовое месторождение *Статфьорд*, извлекаемые запасы которого оцениваются в 268 млн. т нефти и 50 млрд. м³ газа. Длина его структуры 24 км, глубина воды 160 м.

На границе с Норвежским сектором открыто месторождение *Брей*, приуроченное к юрским песчаникам, залегающим на глубине 57 м. Извлекаемые запасы нефти оцениваются в 140–200 млн. т, газа – 57–85 млрд. м³.

Доказанные запасы нефти площади *Экофиск*, расположенной в южной части Норвежского сектора Северного моря, составляют 496 млн. т и газа – 340 млрд. м³. Продуктивными отложениями мощностью 130 м являются датские известняки (верхний мел) и нижняя часть базальных третичных карбонатных пород, залегающих на глубинах 3000–3200 м. На этой площади открыто семь месторождений. Самое крупное из них – месторождение *Экофиск* (глубина моря 70 м), доказанные запасы которого оцениваются в 136 млн. т нефти и около 90 млрд. м³ газа. Запасы остальных месторождений составляют соответственно нефти (в млн. т) и газа (в млрд. м³): *Уэст-Экофиск* – 65 и 70, *Вэлхолл* – 50 и 40, *Элдфиск* – 48 и 90, *Альбускъел* – 15 и 30, *Тор* – 13 и 14, *Эдда* – 13 и 6.

Основная добыча нефти ведется на месторождении Экофиск, предполагалось, что максимальная добыча нефти на нем может достигнуть 35 млн. т.

В конце 1979 г. началась разработка месторождения Статфьорд с одной платформы и в августе 1980 г. на нем добывалось 16,4 тыс. т/сут нефти. Предполагается, что максимальная добыча нефти на месторождении при его эксплуатации тремя платформами составит около 33 млн. т в год.

В Датском секторе Северного моря выявлены месторождения *Рут* и *Адда*, приуроченные к отложениям датско-маастрихтского яруса верхнего мела.

Месторождения Северного моря отличаются высоким качеством нефти. Плотность ее 0,78–0,85 г/см³, содержание серы – менее 2%. Предполагается, что во второй половине 80-х годов добыча нефти в Северном море превысит 300 млн. т в год. Бóльшую часть нефти (свыше 50%) даст Британский сектор. Добыча газа в 1985 г. достигнет 150 млрд. м³.

В пределах континентальной части Западной Европы наиболее значительными ресурсами нефти и газа в мезозойских отложениях располагает ФРГ. Основные месторождения расположены в районе Эмсланд (вблизи границы с Нидерландами) и в междуречье Эльбы и Везера. Продуктивные горизонты приурочены к отложениям нижнего мела (валанжин) и юры (лейас и доггер). В междуречье Везера и Эм-

са продуктивные горизонты представлены породами нижнего мела, мальма и доггера.

К песчаным отложениям валанжина и неокома приурочены продуктивные горизонты нефтяных месторождений Нидерландов. Достоверные их запасы нефти составляют 17 млн. т, а годовая добыча примерно 1,2 млн. т.

Разведанные запасы нефти и газа Франции сосредоточены в месторождениях мезозойского возраста. Среди них по масштабам запасов и добычи выделяются два месторождения – Лак и Парентис.

На месторождении *Лак*, расположенном в долине р. Гав-де-По, в пределах Аквитанской газонефтеносной области, установлены две промышленные залежи: верхняя, нефтяная, в породах сенона, и нижняя, газовая, в отложениях неокома. Первая вскрыта на глубине 620–680 м, вторая – на глубине более 3500 м. Газ отличается высоким содержанием серы; при добыче газа, равной 1 млн. $м^3$/сут, получается около 70 тыс. т серы в год. В 1 $м^3$ газа содержится 65 г конденсата. В аквитанской области открыт еще ряд аналогичных по геологическому строению, но более мелких месторождений.

Месторождение *Парентис*, расположенное на побережье Бискайского залива, в прошлом обеспечивало более 80% всей добычи нефти во Франции. Продуктивными горизонтами служат отложения верхней юры и нижнего мела.

Ряд небольших месторождений нефти открыт в пределах Парижского бассейна. В 43 км к востоку от Парижа промышленная нефтеносность установлена в юрских известняках на глубине 1820 м. Начальный дебит скважин достигает 145 т нефти в сутки.

Разведанные запасы нефти во Франции на начало 1981 г. оценивались в 14 млн. т. В 1980 г. в эксплуатации находилось 350 скважин и было добыто 1,4 млн. т нефти.

В Италии нефтеносные отложения мезозойского возраста развиты на о. Сицилия. Здесь эксплуатируются два небольших месторождения, продуктивные горизонты которых представлены доломитами триаса.

В Великобритании из отложений триаса в незначительных количествах нефть извлекается в Ланкашире. В Суссексе, на месторождении *Хитфильд*, эксплуатировался триасово-юрский газоносный комплекс. Недавно открыто месторождение нефти, приуроченное к отложениям бунтер (нижний триас). Разведанные его запасы составляют 7 млн. т.

К отложениям валажина приурочено небольшое месторождение нефти и газа в Болгарии.

В Венгрии разрабатываются ряд месторождений нефти и одно месторождение газа, приуроченные к мезозойским отложениям, преимущественно к доломитам триаса, известнякам и глауконитовым песчаникам тортона.

В СССР установлена промышленная нефтегазоносность юрских и меловых отложений Западно-Сибирской низменности.

Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция включает 11 нефтегазоносных областей. Осадочный чехол в ее пределах сложен мезо-кайнозойскими отложениями. Их мощность постепенно увеличивается от окраин плиты к центру и северу. Около 80–90% разреза осадочного чехла составляют песчано-глинистые образования юры и мела, с которыми связана нефтегазоносность.

В мезозойском разрезе Западной Сибири выявлено восемь продуктивных нефтегазоносных горизонтов: келловей-оксфордский, кимеридж-волжский, берриас-валанжинский, валанжин-готеривский, готерив-аптский, апт-альб-сеноманский, турон-сантонский, кампан-датский.

В состав Среднеобской нефтегазоносной области, открытой в 1961–1965 гг., входят три нефтегазоносных района: Нижневартовский, Сургутский и Салымский. Основные запасы нефти здесь сосредоточены в отложениях неокомского комплекса. Преобладают нефтяные залежи с газовыми и газоконденсатными шапками.

Открытое в Западной Сибири в 1965 г. (рис. 76) *Самотлорское* месторождение приурочено к шести локальным поднятиям в южной части Тарховского вала Нижневартовского свода. Общая мощность осадочного чехла месторождения достигает 2700–2900 м. В пределах глубин 1610–2230 м выявлено семь залежей нефти, из которых три заключены в отложениях валанжина, одна – в отложениях готерива, две – в отложениях баррема и одна – в отложениях апта. Залежи пластовые, высокодебитные, сложены песчаниками с прослоями алевролитов и глин и характеризуются коллекторами порового типа.

Ряд месторождений нефти Западной Сибири приурочен к локальным поднятиям Пимского вала Сургутского свода. К ним относится *Мамонтовское* месторождение, общая мощность осадочного чехла которого составляет 2860–2920 м. Нефтеносны отложения валанжина и баррема, представленные песчаниками с прослоями или линзами алевролитов и глин. Здесь выявлено пять залежей нефти, расположенных на глубинах 1920–2460 м. Залежи пластовые, высокодебитные, с коллекторами порового типа. Общая мощность осадочного чехла *Усть-Балыкского* месторождения составляет 3060–3300 м. Всего здесь выявлено 14 нефтяных залежей, расположенных в пределах глубин 1920–2696 м. Из них одна залежь приурочена к отложениям нижнего келловея, одна – к отложениям берриаса, пять – к отложениям валанжина, шесть – к отложениям готерива и одна – к отложениям баррема. Нефтеносны песчаники с прослоями или линзами глин. Залежи пластовые с коллекторами порового типа.

На громадной территории севера Тюменской области выявлены в основном газовые и газоконденсатные месторождения. К ним относятся Уренгойское, Заполярное, Ямбургское, Медвежье и др. Основные продуктивные горизонты связаны с песчаниками, песками и алевролитами сеноманского возраста. *Уренгойское* месторождение приурочено к локальной структуре размером 140 × 50 км, в своде поднятия которой на глубине 1080 м залегает основной продуктивный горизонт. Ниже этого горизонта на глубине 3015–3030 м в отложениях валанжина

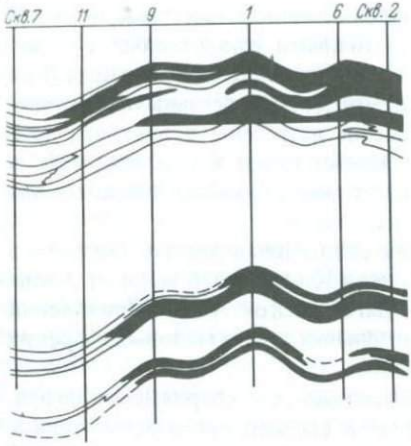


Рис. 76. Геологический профиль месторождения Самотлор.

Черным цветом показана нефть

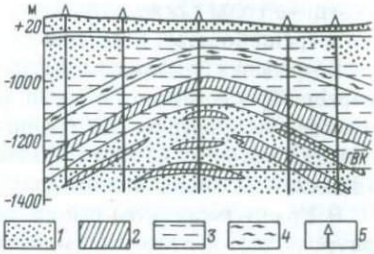
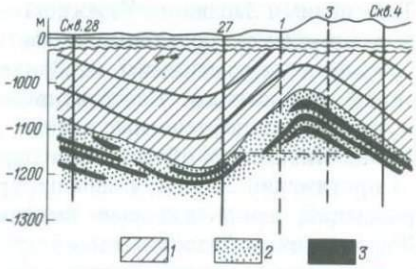


Рис. 77. Геологический профиль Заполярного месторождения:

1 – пески; *2* – алевролиты; *3* – глины; *4* – опоки; *5* – скважина. *ГВК* – газово-водный контакт

Рис. 78. Геологический профиль месторождения Медвежье (по Н. Х. Кулахметову):

1 – глины; *2* – песчаники и пески; *3* – газ



вскрыт второй продуктивный горизонт, также представленный песчаниками и алевролитами.

Заполярное месторождение (рис. 77) приурочено к одноименному локальному поднятию размером 24 х 55 км и представлено двумя залежами газа, расположенными на глубинах от 1054 до 1372 м. Газоносны песчаники с прослоями алевролитов и глин сеномана в одной залежи и турона в другой.

Ямбургское месторождение, приуроченное к локальному поднятию, размером 45 х 75 км, представлено одной залежью газа на глубине 1070–1216 м. Газоносны сеноманские песчаники с прослоями алевролитов и глин.

Медвежье месторождение (рис. 78) прирочено к структуре размером 120 х 26 км, осложненной двумя куполами. Пластовая массивная залежь сложена переслаиванием песчаников, алевролитов и глин.

Юрские–меловые терригенные и карбонатные отложения продуктивны в Предкавказье, Закавказье, Западном Казахстане и Средней Азии.

В районах Предкавказья нефтегазоносные отложения мезозойского возраста вместе с продуктивными третичными отложениями слагают два бассейна: *Азово-Кубанский* и *Средне-Каспийский*. Промышленные скопления нефти здесь приурочены к среднеюрским песчаным и песчано-алевролитовым породам. Газовые залежи встречены в верхнеюрской карбонатной толще. Многочисленные залежи нефти и газа открыты за последние годы также в песчано-алевролитовых отложениях нижнего мела и в трещиноватых известняках верхнего мела.

В пределах Закавказья нефтеносные отложения юрского – мелового возраста прослеживаются вдоль побережья Каспийского моря от Апшеронского полуострова до границы с Дагестанской АССР. Проявления нефтегазоносности известны также в отдельных свитах меловых и юрских отложений на Апшеронском полуострове.

В Урало-Эмбенском районе разрабатываются месторождения нефти, приуроченные к отложениям нижнего мела, средней юры и пермо-триаса.

В Средней Азии мезозойские месторождения в последнее время открыты в ряде районов *Амударьинской* газонефтеносной провинции, занимающей юго-восточную часть Туранской плиты и примыкающий к ней на юго-западе Предкопетдагский краевой прогиб. В административном отношении провинция расположена в пределах Центральной и Восточной Туркмении и Западного Узбекистана. Нефтегазоносны четыре продуктивных комплекса, подавляющая часть разведанных запасов которых приурочена к верхнеюрским карбонатным и нижнемеловым (неоком-аптским) отложениям. Перспективными считают Шатлыкский и Денгизкульский газонефтеносные районы и Чарджоускую, Мургабскую и Беурдешик-Хивинскую области. Благоприятные структуры здесь прослежены на протяжении 200 км; к ним приурочен ряд нефтяных и газовых месторождений, среди которых выделяются *Шатлык, Даулетабад-Донмез, Шуртан, Газли.* Газоносность их приурочена к верхнеюрским и меловым отложениям, слагающим толщу мощностью до 1000–1200 м.

В регионе имеются ряд крупных сернистых месторождений газа – *Кандым, Денгизкуль-Хаузак-Шады* и др.

Кроме Амударьинской газонефтеносной провинции в Средней Азия выделяется Ферганская нефтегазоносная область, соответствующая одноименной межгорной впадине, и Чу-Сарысуйская газоносная область, охватывающая одноименную синеклизу Центрально-Евразиатской платформы. В Ферганской области выявлено около 40 месторождений, из них 30 – нефтяных и нефтегазовых. Основные перспективы области связаны с доразведкой разрабатываемых месторождений юрского и мелового возраста и с поисками залежей нефти и газа в палеогеновых отложениях глубокопогруженных зон.

Всего в Средней Азии открыто 98 месторождений, в том числе 23 нефтяных, 21 газонефтяное, 10 нефтегазоконденсатных и 44 газовых и газоконденсатных.

Месторождения нефти открыты в Западном Казахстане, на Южном Мангышлаке, где они приурочены к юрским и меловым отложениям. В разрезе этих отложений насчитывается до 60 продуктивных пластов,

объединяемых в 40–45 горизонтов. Помимо открытых здесь месторождений *Жетыбай* и *Узень* выявлено свыше 20 благоприятных геологических структур. Нефтяные месторождения открыты также в сопредельных с Мангышлаком районах – у юго-восточного борта Прикаспийской впадины.

На полуострове Бузачи на глубине до 1000 м открыты нефтяные месторождения, приуроченные к юрским отложениям (*Северное Бузачи, Каражанбас*).

Промышленные залежи природного газа в юрских отложениях выявлены в Усть-Вилюйском районе Якутской АССР, расположенном на сочленении Приверхоянского прогиба и Вилюйской синеклизы. Разведанное здесь *Усть-Вилюйское* месторождение приурочено к брахиантиклинальной складке (15 х 7 км), сложенной породами мелового и юрского возраста. Продуктивные песчано-глинистые отложения низов нижней юры, общая мощность которых достигает 200 м, на глубинах 1850–2030 м включают семь газовых горизонтов. Свободные суточные дебиты газа по пластам колеблются от 420 тыс. до 5 млн. м^3. Другое месторождение этого района – *Собо-Хаинское* – сложено юрскими породами, образующими куполовидную складку размером 5,5 х 3,5 км. Газоносны здесь также нижнеюрские отложения, из которых получены притоки газа со свободными дебитами 420 – 460 тыс. м^3/сут. Возможно, что в Усть-Вилюйском районе продуктивными окажутся также триасовые и пермские отложения. При опробовании нижнетриасовых отложений получены притоки воды с растворенным углеводородным газом.

УГОЛЬ

Мезозойская эпоха во многих районах мира, особенно в Европе и Азии, отличалась влажным климатом и исключительно благоприятными условиями для угленакопления. Промышленные месторождения углей этого возраста известны на всех континентах, но бóльшая часть их геологических запасов сосредоточена в СССР, где они оцениваются в 2700 млрд. т (40 % общих запасов страны); из них в меловых угленосных отложениях заключено 1158 млрд. т, в юрских 1540 млрд. т, в триасовых 2 млрд. т. Возраст и продолжительность углеобразования в основных мезозойских угленосных бассейнах и месторождениях СССР приведены на рис. 79. Особенно велики запасы мезозойских углей в азиатской части СССР. Здесь расположены самый крупный в мире Ленский бассейн и ряд других значительных угленосных площадей.

Угленосные отложения *Ленского* бассейна распространены на огромной территории в бассейнах рек Лены, Вилюя и Алдана. Промышленная угленосность здесь связана главным образом с меловыми и в меньшей мере с юрскими отложениями; третичные угли имеют более ограниченное распространение и известны лишь в нескольких местах. В бассейне развиты угли всех марок – от бурых до коксующихся включительно; на долю энергетических углей приходится до 88% общих запасов. Бассейн слабо изучен и пока в ничтожной степени осваивается промышлен-

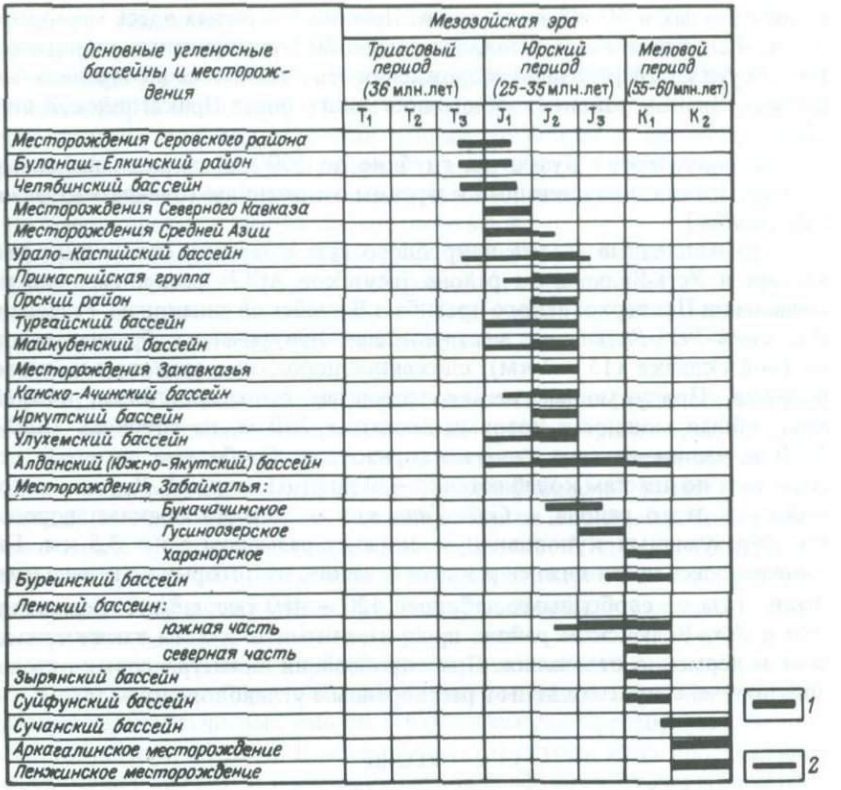


Рис. 79. Возраст и продолжительность углеобразования в основных мезозойских бассейнах и месторождениях СССР *(по А. К. Матвееву)* **:**

1 – основные угленосные горизонты; *2* – второстепенные и непромышленные угленосные горизонты

ностью. Общие геологические запасы его до глубины 1800 м определены в 1647 млрд. т.

Другой крупный бассейн – *Канско-Ачинский* – заключает 620 млрд. т углей. Угленосные отложения бассейна занимают огромную площадь и прослеживаются на протяжении 680 км, ширина его от 50 до 300 км. К северо-западу угленосные отложения постепенно погружаются на значительную глубину и на территории Западно-Сибирской низменности перекрываются мощной толщей более молодых отложений. Нижние горизонты угленосной толщи относятся к верхам нижней юры. В отдельных районах сохранились наиболее высокие горизонты угленосной толщи, принадлежащие к верхней юре.

Мощность угленосных отложений в большей части бассейна составляет 400–700 м, местами она уменьшается до 250–300 м, а в северных

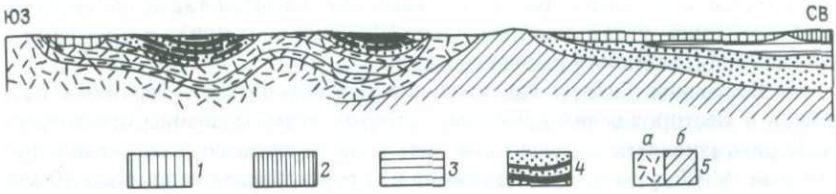


Рис. 80. Геолого-структурный разрез Канско-Ачинского бассейна *(по Н. И. Погребнову)* :

1 – четвертичные отложения; *2* – палеогеновые отложения; *3* – меловые отложения; *4* – нижне-среднеюрская угленосная формация; *5* – подугленосные палеозойские отложения (а – девон-каменноугольные, *б* – кембрийские)

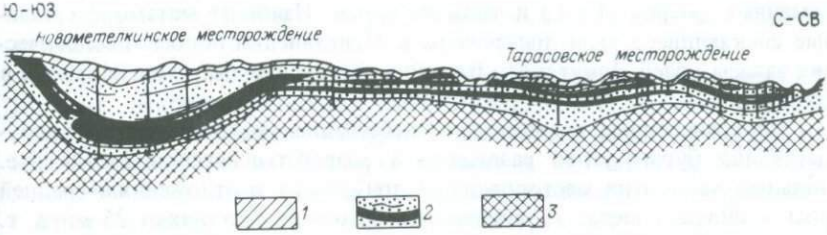


Рис. 81. Геолого-структурный разрез Иркутского бассейна *(по Н. И. Погребнову)* :

1 – четвертичные отложения; *2* – угленосная формация; *3* – нижнепалеозойские породы, подстилающие угленосную формацию

районах достигает 900–1100 м. Угленосные отложения слагают систему обширных мульд с полого наклоненными крыльями (от 1 до 10°), усложненными весьма пологой волнистой складчатостью (рис. 80). Углы падения крыльев увеличиваются (до 20–60°) на участках, непосредственно примыкающих к древним складчатым сооружениям – Восточному Саяну, Енисейскому кряжу и хр. Арга.

Юрские угленосные отложения Канско-Ачинского бассейна разделяются на две свиты: нижнюю, мощностью до 320 м, и верхнюю, мощностью до 750 м. Нижняя свита содержит от 1 до 11 рабочих пластов угля мощностью от 1 до 3 м. Верхняя свита включает от 2 до 14 рабочих пластов. В верхней части этой свиты залегает пласт угля мощностью от 17 до 80 м. Угольные пласты залегают на незначительной глубине – от 5 до 600 м – и на большей части месторождений бассейна могут разрабатываться открытым способом. В 1979 г. добыто 33 млн. т угля.

Резко преобладающим типом угля в бассейне является бурый; каменный уголь составляет всего 0,7%. Каменные угли одного из разведанных месторождений бассейна – *Саяно-Партизанского* – могут быть использованы в каксовой шихте в качестве добавки (до 40%) к углям марок Ж, К и ОС.

В пределах Канско-Ачинского бассейна имеются также небольшие месторождения углей карбонатного (Рыбинский район) и третичного (Бельско-Мотыгинский район) возраста.

В Восточной Сибири известен еще ряд сравнительно крупных бассейнов и месторождений каменных и бурых углей мезозойского возраста. К ним относятся юрские каменные угли *Улухемского* бассейна в Тувинской АССР, угленосные отложения которого протяженностью 80 км и шириной от 20 до 60 км выполняют Кызылскую котловину. Геологические запасы бассейна 14,2 млрд. т. Большое значение имеет *Иркутский* бассейн, сложенный среднеюрскими угленосными отложениями общей мощностью до 500 м, которые выполняют предгорную впадину (рис. 81). Здесь на площади около 4000 км^2 установлено 11 рабочих угольных пластов мощностью от 0,7 до 30 м, которые иногда сближаются и образуют один мощный пласт. Угли большей частью гумусовые, каменные (марок Д и Г) и частично бурые. Наиболее метаморфизованные спекающиеся угли приурочены к Присаянской полосе. Геологические запасы углей Иркутского бассейна до глубины 600 м оцениваются в 76 млрд. т.

Многочисленные сравнительно небольшие месторождения преимущественно бурых углей разведаны и разрабатываются в Забайкалье. Бóльшая часть этих месторождений приурочена к отложениям средней юры – нижнего мела; геологические запасы их составляют 25 млрд. т.

Высоким качеством каменных углей отличаются разведанные за последние годы месторождения *Южно-Якутского* бассейна. Промышленная угленосность здесь приурочена главным образом к дурайской свите юры. Общая мощность угленосных отложений 2150–2300 м. Количество пластов и их мощность весьма изменчивы. В разрезе дурайской свиты установлено 28 угольных пластов и пропластков, залегающих на глубине не более 300 м. В ряде пластов вследствие тектонических нарушений мощность изменяется от нерабочей до 7–11 м, а иногда и более. На *Нерюнгринском* месторождении мощность пласта Мощного составляет от 11 до 70 м (в среднем 25 м).

Угли бассейна относятся к типу гумусовых и соответствуют маркам Ж, К, ОС и Т. Общие геологические запасы углей оцениваются в 44 млрд. т. Бассейн представляет собой крупную базу коксующихся углей на Востоке Советского Союза.

Ряд месторождений каменных углей приурочен к мезозойским прибрежно-континентальным отложениям Амурской области, где выделяются *Верхне-Амурская* угленосная площадь (верхняя юра – нижний мел), *Депская* котловина (нижний мел) и нижнемеловые угленосные отложения *Огоджинского* месторождения. В пределах Хабаровского края весьма значительные запасы каменных углей мезозойского возраста заключены в месторождениях *Буреинского* бассейна. Здесь угленосны континентальные отложения верхней юры и нижнего мела общей мощностью до 2000 м. В наиболее изученном *Ургальском* месторождении они заключают свыше 50 пластов и пропластков каменных гумусовых углей. Общие геологические запасы углей бассейна определены в 13 млрд. т, из которых 9 млрд. т залегают на глубине до 600 м.

В Приморском крае наибольшую промышленную ценность представляют континентальные угленосные отложения нижнего мела. К ним относятся два основных каменноугольных бассейна – *Партизанский* и *Раздольненский.* Геологические запасы их сравнительно невелики и до глубины 300 м составляют соответственно 300 млн. и 1000 млн. т. Небольшие месторождения каменного угля мезозойского возраста известны на о. Сахалин, где они приурочены к отложениям верхнего мела.

Значительные площади развития мезозойских угленосных отложений известны на северо-востоке СССР. Здесь при современном состоянии изученности наиболее крупным представляется *Зырянский* бассейн с геологическими запасами углей в 50 млрд. т, из которых 18 млрд. т располагаются на глубине до 600 м. Угленосность приурочена к нижнемеловым отложениям. В наиболее изученном Зыряно-Силянском районе эти отложения содержат до 40 пластов угля рабочей мощности. Угли каменные, гумусовые. Некоторые из них слабо спекаются или дают порошковатый кокс.

Среди многочисленных проявлений мезозойской угленосности в Казахстане наибольшее значение имеет *Тургайский* (Убаганский) бассейн, продуктивные отложения которого относятся к верхнему триасу, нижней и средней юре и палеогеновой системе. Основная промышленная угленосность бассейна связана с осадками убаганской серии ранне-среднеюрского возраста. Среди пород кушмурунской свиты этой серии установлено 19 пластов угля рабочей мощности. Наибольшей угленосностью характеризуется нижняя часть свиты, где залегают два мощных пласта: Нижний мощный (50–60 м) и Верхний мощный (до 30 м). Суммарная мощность угольных пластов этой свиты 80–120 м. К осадкам дузбайской свиты приурочено до 10 сближенных пластов угля суммарной мощностью до 40 м. Геологические запасы бассейна составляют 62 млрд. т. Угли бассейна гумусовые, бурые, иногда с прослоями сапропелевых углей и горючих сланцев.

Юрскими являются большинство месторождений угля в Средней Азии, в том числе месторождения каменного угля Киргизии и *Ангренское* буроугольное месторождение в Узбекистане.

Мезозойские месторождения угля интенсивно разрабатываются на Урале. Среди них наиболее крупное – *Челябинский* бассейн. Угленосные отложения бассейна – верхнетриасовые – нижнеюрские. Угленосность отдельных участков бассейна весьма различна. В центральной части бассейна залегает пласт угля сложного строения мощностью до 200 м, в котором на долю угля приходится до 50% мощности. На других участках развиты менее мощные пласты, число которых достигает нескольких десятков. Угли бассейна гумусовые бурые.

Вторым по запасам мезозойских углей на Урале является *Серовский* угленосный район, в пределах которого наиболее крупные месторождения – *Волчанское* и *Богословское* – разрабатываются разрезами.

Небольшие месторождения мезозойских углей известны на Северном Кавказе.

Среди зарубежных стран наиболее крупными ресурсами мезозойских углей обладает К Н Р. Угленосные отложения преимущественно

юрского возраста широко распространены во многих провинциях республики, часто отличаются углями высокого качества и интенсивно разрабатываются. В северо-восточной части КНР расположен ряд бассейнов каменных коксующихся углей, среди которых наиболее важное значение имеет *Хэганский* бассейн, занимающий по запасам углей одно из первых мест в республике. В этом же районе известны *Фусиньский* бассейн с разведанными запасами каменных углей в 4 млрд. т, *Мааньшаньский* – около 1 млрд. т и ряд менее значительных месторождений. Сравнительно крупные месторождения каменных углей, частично пригодных для коксования, расположены в провинции Хэбэй. Угленосная толща, представленная здесь юрскими красноцветными песчаниками, которые местами прорываются и покрываются базальтами, содержит до 13 пластов угля рабочей мощности.

Мезозойские угленосные отложения известны также на территории Вьетнама, где они относятся к верхнему триасу (рэту). Угли каменные, в основном антрациты и полуантрациты. К юрским отложениям приурочен ряд месторождений каменного угля в Афганистане.

В пределах Африканского континента заслуживающие внимания мезозойские месторождения каменных углей известны в Нигерии. Здесь расположен угольный бассейн *Энугу*, где несколько угольных пластов залегают в толще песчаников и сланцев верхнего мела. Месторождения слабо изучены и разрабатываются в ничтожных масштабах; в 1980 г. добыто 200 тыс. т.

Более широко мезозойские угленосные отложения распространены в Северной и Южной Америке. В США триасовые битуминозные угли развиты в угленосных районах атлантического побережья. На территории Северных Великих равнин и в районах Скалистых гор в меловых угленосных отложениях заключены пласты углей от бурых до суббитуминозных. Многочисленные месторождения каменных углей мелового возраста известны во многих районах Канады: в провинции Альберта, Британской Колумбии и Саскачеване, Юконе, Северо-Западных территориях и на арктических островах. Часть этих углей пригодна для коксования. Общие запасы угля оцениваются в 2 млрд. т, а достоверные – в 15 млрд. т; в 1980 г. добыто 20 млрд. т.

Сравнительно крупные запасы каменных коксующихся углей мелового возраста (1250 млн. т) заключены в бассейне Сабинас на севере Мексики. Месторождения каменных углей мелового возраста разрабатываются также в Колумбии, Перу и Чили.

В Европе известны только мелкие месторождения каменных и бурых углей мезозойского возраста. В Швеции, Франции и Италии они приурочены к верхнему триасу и юре, в Венгрии и Болгарии – к юре и мелу, в Испании – к мелу.

УРАН

Промышленные месторождения мезозойского возраста играют значительную роль в ресурсах и добыче урана. К мезозою относятся широко известные месторождения урано-ванадиевых руд плато *Колорадо* в

США, большинством исследователей считающиеся сингенетичными образованиями. Вопрос о генезисе и, следовательно, о времени формирования этих месторождений значительно усложнился и вызвал оживленную дискуссию в связи с определениями абсолютного возраста урановых минералов. Возможно, что накопленный в процессе осадкообразования уран позднее был в какой-то мере переотложен гидротермальными растворами, связанными с кайнозойскими интрузиями; растворы также могли привнести уран и другие металлы, сульфиды которых постоянно присутствуют в рудах.

Месторождения урановых руд, сходных по генезису с колорадскими, известны также в Аргентине, Нигере и некоторых других странах. Все они, несмотря на позднейшее переотложение части рудного материала, связаны с литологически строго определенными осадочными образованиями, обогащенными ураном, и потому рудообразование в рудных провинциях этого типа в целом можно считать сингенетичным.

Месторождения урано-ванадиевых руд плато Колорадо, в которых заключено 55% разведанных ресурсов урана США, приурочены к осадочным отложениям триаса и верхней юры. Эта обширная провинция площадью около 400 тыс. км^2 охватывает территорию нескольких штатов (Юта, Колорадо, Аризона и Нью-Мексико) и включает сотни сравнительно небольших месторождений урано-ванадиевых руд, среди которых насчитывается и несколько десятков более крупных месторождений с запасами до 50 млн. т руды.

Осадочные отложения представлены разнообразными песчаниками, сланцами и подчиненными им известняками и конгломератами, часто обладающими косой слоистостью и содержащими углефицированные растительные остатки. Они резко несогласно залегают на кристаллических породах докембрийского основания, собраны в многочисленные, часто нарушенные сбросами пологие (обычно куполовидные) складки и прорваны изверженными породами главным образом монцонитового состава. Иногда интрузивные массивы занимают центральные части куполов.

Урановая минерализация различной интенсивности проявлена почти по всему разрезу осадочных отложений; добыча урановых руд производилась из 22 горизонтов. Однако большинство урановых месторождений промышленного значения, обеспечивающих до 98% добычи урана в этой провинции, приурочено к отложениям формации чинл (триас) и особенно к серым песчаникам свиты солтуош формации моррисон (верхняя юра).

В песчаниках формаций моррисон и чинл в большом количестве находятся растительные остатки, вплоть до окаменевших стволов деревьев. А. Бэтман приводит интересные примеры концентрации в них урано-ванадиевой минерализации. По его данным, два окаменелых ствола в районе р. Сан-Мигуэль (один из них величиной 30 х 1,2 м) дали 150 т руды, содержащей радия на 175 000 долл, урана на 27 300 долл, ванадия на 28 200 долл. Два других ствола и промежуточные пески в окрестностях ущелья Каламити Галч дали продукции на 35 000 долл. В отложени-

ях свиты браши бейсин формации моррисон широко распространены окаменелые скелеты динозавров.

По литологическому составу вмещающих пород выделяются месторождения в песчано-аргиллитовых породах (наиболее крупные месторождения), в песчаниках, известняках и песчано-глинистых породах. Рудные залежи отличаются весьма разнообразными формами и размерами. Преобладают небольшие гнезда и карманы в несколько метров в поперечнике, но развиты и крупные, преимущественно пласто- и линзообразные залежи, которые прослеживаются по простиранию на несколько сотен метров при средней мощности до 6 м; иногда встречаются и более мощные.

В самих залежах урановые и ванадиевые минералы образуют вкрапленность, неправильной формы скопления, корки и прожилки. В наиболее мощных участках рудных залежей обычно встречаются гнезда и линзы богатых руд, известных здесь под названием „рудных катьшей".

В качестве общей закономерности отмечается преимущественная приуроченность оруденения к породам, обогащенным органическим веществом; при этом особенно благоприятными для формирования руд оказываются участки частого тонкого переслаивания песчаников с аргиллитами и сланцами. Имеются также указания, что ванадиевые минералы обычно сосредоточены в промежутках между зернами песчаников, а урановые минералы выполняют пустоты в углефицированных растительных остатках. В ряде месторождений цемент песчаников представлен асфальтитом, и преимущественно к нему тяготеет оруденение.

По соотношению в рудах урана, ванадия и меди различают урановые, медно-урановые, урано-ванадиевые и ванадиевые руды. В первичных урановых и медно-урановых рудах основными минералами являются настуран и коффинит, в урано-ванадиевых вместе с ними присутствует монтрозеит и в ванадиевых – роскоэлит, иногда при незначительной примеси монтрозеита. Урановые и ванадиевые минералы обычно сопровождаются кальцитом или доломитом и реже баритом. В небольших количествах во всех типах руд постоянно присутствуют сульфиды железа, меди, свинца, цинка, молибдена и др., представленные халькопиритом, борнитом, халькозином, хризоколлой, ковеллином, пиритом, марказитом, галенитом, сфалеритом, молибденитом, герсдорфитом. Иногда встречаются селениды – клаусталит и эвкайрит.

Почти во всех месторождениях широко проявлена зона окисления, в пределах которой развиты главным образом ванадаты урана и в меньшей степени фосфаты, арсенаты и сульфаты урана. Из них наиболее распространены карнотит и тюямунит, реже в рудах присутствуют уранофан, раувит, бета-уранотил, отенит, метаотенит, сабугалит, скупит, метацейнерит, уранопилит, иоганнит, циппеит. Среди собственно ванадиевых минералов преобладают преимущественно парамонтрозеит и корвусит, а за счет сульфидов железа, меди, свинца, цинка и других металлов развиты малахит, азурит, антлерит, халькантит, брошантит, цианотрихит, гётит,

ярозит, эритрин и др. Из нерудных минералов встречаются барит, флюорит, алунит, сера, гипс.

Содержание урана в рудах колеблется от 0,08 до 0,4%, в среднем составляя 0,2–0,24%. Содержание V_2O_5 изменяется от 1 до 4%. Рудные залежи часто содержат в заметных количествах медь, например, в рудах месторождения Холидей среднее содержание меди составляет 0,5%.

Отдельные месторождения плато Колорадо, состоящие из серии рудных залежей, обычно вытянутых в одном направлении, но не всегда согласно со слоистостью вмещающих пород, отстоят друг от друга на несколько десятков километров. В размещении групп месторождений намечается определенная линейность, в связи с чем здесь выделяется ряд рудных поясов: Грантс (с районами Лагуна и Амброзия-Лейк) и Ураванский, включающие месторождения формации моррисон, Лисбон-Валли, Моньюмент и Темпл-Маунтин – с месторождениями формации чинл.

Пояс *Грантс,* называемый также Южным минеральным поясом бассейна Сан-Хуан, является самым крупным урановорудным районом плато Колорадо и протягивается на 110–160 км в северо-западной части штата Нью-Мексико в виде прогнутой полосы вдоль южной окраины бассейна Сан-Хуан.

Наиболее крупные рудные залежи расположены в северо-западной части штата Нью-Мексико, в районе Амброзия-Лейк, где они образуют в песчаниках свиты уэстуотер формации моррисон до шести зон, залегающих на глубине от 90 до 370 м. Рудная полоса прослежена здесь почти на 15 км, ширина ее около 1,5 км, мощность от 0,3 до 30 м (в среднем – около 3 м).

Единственным урановым минералом в рудах является коффинит, образующий более или менее равномерную вкрапленность в крупнозернистом песчанике, цементом которого наряду с глиной и кальцитом служит асфальтитовое вещество. Считают, что асфальтит способствовал осаждению урана, который привносился грунтовыми водами, и что содержание его в песчаниках прямо пропорционально количеству заключенного в них асфальтитового вещества.

Весьма характерной особенностью оруденелых песчаников района является их светло-серый цвет, хотя остальные песчаники свиты уэстуотер обладают красным цветом, обусловленным тонкой вкрапленностью гематита. Предполагают, что в процессе рудообразования содержащееся в песчаниках железо было вынесено минерализующими растворами или преобразовано в пирит, что и вызвало обеление продуктивных горизонтов.

Под базальтовым плато, разделяющим районы Амброзия-Лейк и Лагуна, разведано открытое в 1975 г. месторождение *Маунт-Тейлор* с запасами урана (U_3O_8) 45,4 тыс. т. Месторождение располагается на глубине 800–1000 м; для его отработки пройдено два шахтных ствола.

Ураванский минеральный пояс (штат Колорадо) представляет собой

полосу субмеридионального простирания длиной примерно 110 км при ширине 3–12,5 км, в которой располагается более сотни урановых месторождений. Положение его не связано ни с одной из крупных разрывных или пликативных структур региона. Рудные залежи отдельных месторождений имеют вид полос, перпендикулярных к генеральному направлению Ураванского пояса.

Урановые руды приурочены здесь к верхним горизонтам песчаников пачки солтуош формации моррисон, сложенной линзами красно- и серо-цветных песчаников. Рудные тела залегают только внутри ореолов измененных пород и отсутствуют в красноцветных разностях. Преобладают окисленные руды, сложенные карнотитом, тюямунитом и другими минералами. Распределение урана в рудах неравномерное – среднее содержание U_3O_8 0,21%. Они содержат до 2% ванадия, а в отдельных месторождениях (*Слик-Рок*) в среднем 0,3% меди. Ванадиевая зона обычно совпадает с урановой, но нередко распространяется шире. В пластовых телах наблюдается селеновая зона как вдоль верхнего, так и вдоль нижнего края рудного тела.

В районе *Лисбон-Валли* (штат Юта) урановые месторождения отчетливо локализуются в полосе северо-западного простирания, часто называемой минеральным поясом Биг-Индиан-Уош; протяженность ее до 25 км при ширине менее 1 км. Рудные залежи приурочены к базальным горизонтам формации чинл – к пачке, сложенной красноцветными аллювиальными образованиями. Обесцвечивание вмещающих пород вблизи залежей более интенсивное, чем в безрудных интервалах.

Урановая минерализация представлена в основном урановой смолкой и небольшим количеством коффинита. Содержания ванадия до 1% установлены в рудах южной части пояса. В некоторых рудных телах отмечается повышенная концентрация молибдена.

В районе поднятия *Моньюмент* (штаты Юта, Аризона) известно свыше 170 урановых залежей в полосе длиной почти 200 км и шириной 5–20 км. Как и в Лисбон-Валли, они приурочены к пачке пестроцветных аллювиальных образований в базальных горизонтах формации чинл. В неокисленных рудах установлены урановая смолка и коффинит; среднее содержание U_3O_8 0,25%. Наконец, в районе Темпл-Маунтин (штат Юта) наиболее крупные рудные тела также залегают в песчаниках нижней части формации чинл. Рудные залежи локализуются в пределах полосы протяженностью 4 км и шириной 600–700 м и имеют в основном серпообразную форму с постепенными переходами в пласто- или линзообразные тела. Особенность руд этого района – постоянное присутствие в них самородного мышьяка; богаты они также и ванадием. Основная их масса не окислена – в значительной части они представляют собой „урановосный асфальтит", в котором урановые минералы находятся в тонкорассеянном состоянии; вторичные представлены карнотитом и тюямунитом.

Относительно генезиса месторождений урано-ванадиевых руд месторождений плато Колорадо существует много различных точек зрения.

Некоторые исследователи считали, что оруденение генетически связано с кайнозойской интрузивной деятельностью и что формирование руд-

ных залежей обусловлено проникновением в осадочную толщу постмагматических гидротермальных растворов. Эта точка зрения обосновывается абсолютным возрастом оруденения, который по данным многих замеров оказался равным 60–70 млн. лет, что соответствует возрасту молодых интрузий, и противоречит гипотезе сингенетично-осадочного происхождения руд.

Более древний возраст, установленный при определении многих образцов, объяснялся примесью в урановых минералах радиогенного свинца, заимствованного из окружающих пород, а также высокой потерей радона первичной минеральной фазой; расчеты показывают, что потеря около 10% радона дает завышение абсолютного возраста по отношению $^{207}Pb/^{206}Pb$ на 350 млн. лет, а потеря 70% радона – почти на 1300 млн. лет.

В пользу гидротермального происхождения оруденения приводились и такие доводы, как приуроченность многих рудных залежей к трещинам сбросов, проявление минерализации более чем в 30 горизонтах и минеральный состав руд, характерный для гидротермальных месторождений.

Сторонники сингенетично-осадочной гипотезы считают, что источником урана и ванадия являются древние породы и ураноносные пегматиты, при разрушении которых заключенные в них металлы поступали в осадки мелководных бассейнов, заливов и речных дельт. Предполагают, что в результате активной циркуляции подземных вод и многократного проявления орогенических фаз происходило преобразование заключенного в породах рудного вещества, возникновение новых минеральных ассоциаций и их пространственное перемещение вплоть до заполнения трещин сбросов и формирования залежей жильной формы. При этом допускается, что первоначальные продукты радиоактивного распада здесь не сохранились и что полученные результаты замеров абсолютного возраста пород относятся к позднейшим фазам преобразования рудного вещества.

Высказывается и ряд других точек зрения относительно формирования месторождений плато Колорадо.

Вероятно, наиболее полной и учитывающей последние данные является генетическая концепция, авторы которой считают, что обогащение ураном осадков формации моррисон было сингенетичным и обусловлено осаждением его из поверхностных вод вблизи растительных остатков; дальнейшее перераспределение урана определило современное положение и размеры рудных тел.

К континентальным и частично прибрежно-морским отложениям нижнемеловой серии иньян-кара, сложенной преимущественно кварцевыми песчаниками, приурочены урановые месторождения западного склона поднятия *Блэк-Хилс* (штаты Южная Дакота и Вайоминг). Все залежи располагаются непосредственно на границе бурых и серых разностей с красноватыми. При этом подчеркивается, что локализация оруденения не связана ни с изменением мощностей вмещающих горизонтов, ни с разрывными тектоническими структурами.

Оруденение здесь представлено в основном окисленными рудами,

сложенными карнотитом и тюямунитом с небольшим количеством отенита и уранофана; черные руды представлены коффинитом и уранинитом в ассоциации с парамонтрозеитом и хеггитом. В залежах, залегающих ниже уровня подземных вод, миграция и вторичное переотложение урана продолжаются до настоящего времени.

В Латинской Америке минерализация типа плато Колорадо развита в Аргентине вдоль восточных предгорий Анд в пределах узкой полосы, протягивающейся почти на 3000 км. Стратиграфический интервал развития уранового оруденения также очень широк – от карбона до третичного времени, но наиболее широко оно распространено в верхнемеловых отложениях – континентальных красноцветах, представленных песчаниками и конгломератами с прослоями красных сланцев и туфов.

Наиболее крупные и хорошо изученные месторождения – *Уэмул, Агуа-Ботада, Пампа-Амарилья* и др. – сосредоточены в южной части провинции Мендос. Урановое оруденение приурочено здесь к конгломератам, грубозернистым и тонкозернистым песчаникам; последние постоянно обогащены асфальтитовым материалом. Рудные тела имеют линзообразную и пластовую форму и локализуются вдоль кровли и подошвы песчаных пластов; протяженность их измеряется километрами. Урановая минерализация ниже уровня подземных вод представлена урановой смолкой и обогащенными тухолитом асфальтовыми пиробитумами; выше уровня вод развиты карнотит, тюямунит, сенжьерит, уранофан и др. Содержания U_3O_8 – 0,25–0,50%; в рудах содержится до 1–4% меди и около 0,1% ванадия.

В провинции Сальта оруденение в верхнемеловых отложениях прослеживается в полосе протяженностью более 50 км. На месторождении *Дон-Отто* рудная минерализация непрерывно фиксируется на протяжении 2,5 км; оруденение приурочено к полосе обесцвеченных пород и представлено в верхних горизонтах карнотитом, тюямунитом, отенитом и др.; урановая смолка появляется ниже 140 м. В рудах отмечается повышенное содержание ванадия.

В Бразилии в штате Минас-Жерайс открыто месторождение *Посус-ди-Калдас* с общими запасами около 26 тыс. т урана, представленное вкрапленными и жильными рудами в щелочных интрузивных породах, связанных с мезозойской активизацией древней платформы.

В ряде провинций ЮАР промышленные проявления уранового оруденения установлены в грубообломочных палеорусловых фациях формации карру. В Капской провинции в таких образованиях открыты рудные тела, содержащие 0,2–0,3% урана, углистые остатки и костный детрит.

В Нигере к аллювиальным песчаникам юрской серии агадес приурочено месторождение *Азелик*, локализованное в месте пересечения крупной положительной структуры серией нарушений. Рудные тела представлены серией сближенных линз, мощность которых 1–3 м и общая протяженность 1000 м. В рудах ниже уровня подземных вод преобладает коффинит и установлена урановая смолка. Минерализация тесно ассоциирует с медным оруденением типа медистых песчаников.

В Испании в районе Масарете уран содержится в количестве око-

ло 0,1% в раннетриасовых серых песчаниках и конгломератах. Аномалии прослеживаются на расстояние 700 м, их мощность 4–6 м. Руда представлена окисленной железистой массой, в которой обнаружены сажистый настуран и отенит. Ведутся технологические испытания по ее переработке. Возможные перспективы этого района оцениваются в 45 тыс. т U_3O_8.

Урановое оруденение известно в Новой Зеландии, на западной стороне Южного острова; оно приурочено к толще хокс-крэг, возраст которой определяется как середина мела. В фации тирароа, представленной аллювиальными образованиями с большим количеством валунов и гальки, имеется около 10 горизонтов мощностью от нескольких дюймов до нескольких футов с содержанием U_3O_8 от 0,025 до 6,4%. Урановая минерализация представлена коффинитом и небольшим количеством отенита и торбернита; установлен также „урановосный углеводород". Запасы точно не подсчитаны, но, по-видимому, невелики. Представления о генезисе месторождения, по аналогии с колорадскими, основаны на гипотезе сингенетического обогащения с последующим переотложением и концентрацией пластовыми водами.

В Японии в районе г. Юя в меловых образованиях выявлено небольшое месторождение отенита с содержанием U_3O_8 в руде около 0,4%.

ЖЕЛЕЗО

В мезозое накопление железных руд происходило в больших масштабах, и с этой эпохой связано образование ряда рудных провинций, заключающих многочисленные железорудные месторождения. Одной из таких провинций является Западно-Европейская, в пределах которой в течение лейаса, доггера и частично мальма в морских условиях отложились крупные массы железных руд оолитового сложения, состоящие главным образом из лимонита и гематита и в меньшей мере из сидерита и шамозита. По составу и структуре они напоминают руды кембро-силурийских отложений (месторождение Уобана в Канаде), но отличаются от них более низким содержанием железа и повышенным содержанием кремнезема и оксида кальция.

Бóльшая часть этой провинции находится на территории Франции, где расположен *Лотарингский* железорудный бассейн, занимающий площадь в 1100 км^2. За пределами Франции этот бассейн продолжается в Люксембурге и отчасти в Бельгии. В Лотарингском бассейне, представляющем собой обширную область распространения оолитовой минеттовой железной руды, сосредоточено более 97% всех достоверных запасов и 95% всей добычи железных руд во Франции.

В пределах бассейна установлено девять пластов железной руды мощностью от 1 до 13 м, залегающих до глубины 200 м. Полого залегающие рудные пласты нарушены сбросами. Общая мощность железорудной толщи составляет в среднем 25–30 м, но местами превышает 50 м.

Содержание железа в рудах Лотарингского бассейна колеблется от 25 до 40%. Руды состоят из лимонита (главным образом), сидерита и

гематита. Разрабатываемые руды – самоплавкие (содержание CaO 18–20%) и не требуют добавки флюсов. В 1975 г. добыча товарной руды составила 50 млн. т, а в 1980 г. снизилась до 29 млн. т. Общие запасы руд бассейна, содержащих Fe в среднем 30–35%, составляют 4 млрд. т, из них доказанных 2 млрд. т.

На территории Люксембурга минеттовые руды пользуются более ограниченным распространением. Здесь известны два месторождения – *Диффердanж* и *Рюмеланж*, руды которых приурочены к отложениям верхнего лейаса. Общие запасы руд на этих месторождениях оцениваются всего в 270 млн. т, в том числе разведанные – 200 млн. т, при среднем содержании Fe 28%, SiO_2 11%, CaO 21%, P 0,6% и Mn 0,4%. Руды Рюмеланжа известковистые (Fe до 27%, P до 1 %), и Диффердanжа – кремнистые, но с более высоким содержанием железа (28–41%). Добыча товарных железных руд в Люксембурге в последнее время снизилось с 2,3 млн. т в 1975 г. до 0,56 млн. т в 1980 г.

Крупные запасы юрских минеттовых руд сосредоточены в Великобритании.

С породами нижнего лейаса в Линкольншире связаны пласты плотных сидеритовых руд месторождения *Фродингем*, превращенные в зоне окисления в бурые железняки. Оруденение прослежено по простиранию на 11 км. Мощность рудных залежей равна в среднем 5,4 м, но иногда достигает 9 м. Общие запасы руд оценивались в 900 млн. т. Среднее содержание Fe в рудах составляет 22,7% при колебаниях от 10 до 25%, SiO_2 5,6–7,1%, CaO 14,2–25,1%, Mn 0,9–1,4%, P 0,35%. Прогнозные ресурсы месторождения оценивались в 3 млрд. т при содержании железа 30%. Благоприятные условия разработки месторождения (открытым способом) и самоплавкость руд (высокое содержание CaO) способствовали его эксплуатации.

С отложениями среднего лейаса связаны месторожнения Йоркшира (Кливленд), Оксфордшира (Банбери), Лестершира и Линкольншира. Здесь добыча руд ведется подземным способом. Мощность главного горизонта 1,5–3,5 м. Средний химический состав руд (в %): Fe 28,1, SiO_2 13,5, P 0,47, S 0,2.

Наиболее значительное и издавна разрабатываемое месторождение этого возраста – *Кливленд* – расположено в непосредственной близости от Дургам-Нортэмберлендского каменноугольного бассейна. Начальные запасы руд оценивались в 2,2 млрд. т, при содержании Fe 35%, P 0,3%. Пласты руд мощностью от 1,8 до 3,5 м прослеживались на протяжении 130 км.

Общие запасы юрских железных руд Великобритании на начало 1961 г. по различным источникам оценивались в 3,7–5,8 млрд. т, в том числе разведанные в 2 млрд. т. В 1960 г. добыто 17,3 млн. т железной руды; из них 90% приходилось на юрские руды с низким содержанием железа, которые использовались промышленностью в смеси с высококачественными импортными рудами. На начало 1981 г. общие запасы железных руд в стране оцениваются в 3,1 млрд. т (доказанные – 2,7 млрд. т) при содержании Fe 22–30%. В 1979 г. добыто 4,3 млн. т товарной руды, а в 1980 г. – 0,9 млн. т.

К числу небольших месторождений железных руд этого типа, образованных в юрский период, относятся: в Бельгии – *Илиссон-Халаизи* (общие запасы 50 млн. т, содержание Fe 28%); в ФРГ – *Гейзлинген* (общие запасы 30 млн. т, содержание железа 34%) и залегающие на глубине 1000–1200 м руды месторождения *Гифгорн* (содержание Fe 24–33%); в Швейцарии – *Фрихталь* (общие запасы 70 млн. т, в том числе разведанные 30 млн. т, содержание Fe 38%, CaO и SiO_2 по 13%).

К началу 1961 г. общие запасы железных руд Западно-Европейской провинции, отложившихся в лейасе, оценивались в 10–12 млрд. т, в том числе разведанные – примерно в 5 млрд. т. В доггере и мальме интенсивность рудообразования резко упала, и общие запасы руд этого возраста составляют только 100 млн. т.

Рудонакопление в Западно-Европейской провинции продолжалось и в меловой период, когда образовались осадочные озерные месторождения Амберга, Ауэрбаха, осадочные морские руды Зальцгиттера и Ильзеде-Пейне в ФРГ, а также мелкие месторождения железных руд Греции (Эвбея – 30 млн. т, Локрис – 20 млн. т) и Италии (Валь-Тромпиа и Валь д'Аста с запасами по 10 млн. т каждое).

В ФРГ наиболее крупные и экономически важные месторождения расположены в районе *Зальцгиттера.* Рудоносен в них базальный конгломерат нижнего мела мощностью от 5 до 100 м (в среднем 30 м), выполняющий неровности рельефа подстилающих пород триаса и юры (лейаса). Он включает слои оолитовых бурых железняков, которые, кроме гидроокислов железа, содержат железистые хлориты (шамозит) и местами сидерит. Содержание Fe в рудах колеблется от 25 до 33%, SiO_2 от 17 до 30%, CaO от 4 до 9%, P не превышает 0,9%.

Рудные залежи месторождений района *Ильзеде-Пейне* приурочены к отложениям нижнего мела. Мощность их от 3 до 14 м, глубина залегания – от 20 до 220 м. Среднее содержание Fe составляет 23,9–29,5%, SiO_2 – около 15%, CaO – 16,5–23,5%, Mn – 0,4–3,6%.

Начальные запасы руд района Зальцгиттера оценивались в 1 млрд. т, достоверные – в 572 млн. т. Общие запасы руд района Ильзеде-Пейне определяются в 130 млн. т. В 1960 г. в ФРГ было добыто 18,9 млн. т железных руд, из них около 10 млн. т – в указанных двух районах. В 1980 г. в стране произведено всего 1,9 млн. т товарной руды, а общие запасы железных руд оцениваются в 1900 млн. т при среднем содержании железа 28%.

В Испании первостепенное значение имели железорудные месторождения *Бильбасо* (начальные запасы 120 млн. т), приуроченные к контакту известняков нижнего и верхнего мела. Рудные тела линзообразной формы; размеры их по длине от 100 до 3600 м, по ширине от 50 до 300 м при средней мощности отдельных залежей от 15 до 20 м. Руды состоят из сидерита (тип карбонато), плотных кристаллических разностей гематита (кампанил), рыхлых его разностей (вена) и бурого железняка (рубио). Лучшие гематитовые руды месторождения – кампанил, – которые содержали в среднем (в %): Fe 58,5, SiO_2 5,3, P 0,01, S 0,27, Mn 1,3, а также руды вена с содержанием Fe 56,8%, SiO_2 6,2%, P 0,015%,

S 0,014% и Mn 0,4%, уже выработаны. Разрабатываются в основном бурые железняки рубио со средним содержанием Fe 51%, Mn 0,5%, P 0,024%, S 0,04% и SiO_2 9,8%. Начата добыча сидеритовых руд карбонато, содержащих Fe 38–41%, Mn 0,7–0,9%, P 0,018%, S 0,14% и SiO_2 6,8%.

В 1980 г. добыто 8,8 млн. т товарной руды; общие запасы руд, содержащих в среднем 48–53% железа, составляют 1,5 млн. т, а доказанные – 0,7 млрд. т.

В Северной Африке к мезозою относится многочисленная группа железорудных месторождений замещения в известняках (тип бильбао). Они отличаются небольшими запасами (от 1 до 20–30 млн. т, редко свыше 100 млн. т), но высоким качеством руд, в которых среднее содержание железа составляет примерно 52%. К этой группе принадлежат месторождения замещения в известняках юры и мела в Алжире (Уэнза, Бу-Кхадра, Бени-Суэйф), в известняках юры в Марокко (Уиксан и др.) и в известняках мела в Тунисе (Джерисса – апт, группа Дуария и Тамера – понт); кроме того, в Египте известен ряд небольших месторождений железных руд в верхнемеловых песчаниках.

Наиболее крупным из них является месторождение *Уэнза* в Алжире. Разведанные запасы месторождения составляют 100 млн. т, среднее содержание железа в рудах – 52%. Руды верхней части месторождения представлены преимущественно гематитом, частично лимонитом и характеризуются низким содержанием фосфора; нижняя часть месторождения слагается карбонатными рудами с пиритом в более глубоких частях. В 1980 г. произведено 4 млн. т товарной руды.

В Марокко разрабатывается месторождение *Уиксан*, приуроченное к контакту выветрелых гранодиоритов с мраморизованными известняками. Рудная залежь линзообразной формы прослежена по простиранию на 350 м, ее ширина 150–300 м, мощность от 20 до 70 м. Руды, представленные в основном гематитом с небольшим количеством магнетита, сменяются в лежачем боку рудной залежи пластом сидерита мощностью 10–12 м, местами с повышенным содержанием пирита. Химический состав руд (в %): Fe 60–62, SiO_2 1–2, P 0,013, Mn 0,02. Общие разведанные запасы руд в стране составляют 170 млн. т при среднем содержании Fe 45%.

В 2 км восточнее месторождения Уиксан, в районе распространения даек порфиритов и андезитов, расположены почти неразведанные железорудные месторождения замещения в известняках, аналогичные по химическому составу рудам месторождения Уиксан. Рудные тела мощностью от нескольких сантиметров до 1–2 м сложены массивной гематитовой рудой. Содержание серы в рудах колеблется от 0,05 до 4,35%.

Добыча руд в стране снизилась с 0,6 млн. т в 1979 г до 0,35 млн. т в 1980 г.

Запасы железных руд Туниса невелики – около 55 млн. т, но руды отличаются высоким качеством. Около $^2/_3$ запасов, а также вся добыча руд в стране (порядка 350 тыс. т в год) приходятся на месторождения замещения, расположенные в западной части страны. Общие и разведанные запасы самого крупного месторождения *Джерисса*, приурочен-

ного к известнякам мела (апт), составляют 20 млн. т руды с содержанием Fe 54–56%, P 0,03%, Mn до 2%. Верхняя часть руд на месторождении представлена гематитом и гётитом, ниже уровня грунтовых вод – сидеритом.

Возраст месторождений замещения в юрских и меловых известняках Северной Африки достоверно не установлен и условно определен как мезозойский. Некоторые исследования предположительно связывают оруденение с палеогеновыми гранитоидными интрузиями, еще не вскрытыми эрозией.

В Египте месторождения осадочных руд приурочены к нижнему отделу толщи нубийских песчаников (сеноман). Основная группа месторождений расположена западнее Асуана. Рудные тела, сложенные сплошными оолитовыми рудами в основном гематитового состава, мощностью от 0,1 до 1 м, образуют два пласта, разделенных оруденелыми песчаниками. Содержание железа в оолитовых рудах 43–49%. Общие запасы руд оцениваются в 440 млн. т, ежегодная добыча составляет 150 тыс. т.

Оолитовые лимонитовые руды позднемелового возраста широко распространены в Нигерии. Они отличаются высоким содержанием фосфора. Содержание железа в них достигает 50%.

В Азии мезозойские месторождения железных руд, помимо СССР, известны в КНР и Малайзии.

В КНР они представлены несколькими типами. В провинции Хубэй известна группа месторождений *Дае*, рудные залежи которых располагаются на контакте известняков триаса с интрузиями диорита и сиенита. Они представлены в основном гематитом , местами магнетитом, реже лимонитом и содержат в среднем (в %): Fe 57,6–60,6, P 0,03–0,1, S 0,06–0,32, SiO_2 5,9–9,4. Месторождения юрских морских оолитовых (гематитовых) руд известны в провинции Сычуань и приурочены к низам цзымо-цзынской свиты. На территории Сычуани и многих других южных провинций КНР более широко распространены месторождения болотных железных руд, залегающие в юрских угленосных отложениях.

Железные руды Малайзии сосредоточены в осадочных месторождениях триасового возраста (*Темангана, Букит Лангкап*), а также в месторождении *Букит Беси* (Данган), рудные тела которого залегают на контакте триасовых пород с гранитной интрузией. Химический состав руд месторождения Букит Беси следующий: Fe 59–60%, Mn 0,23%, SiO_2 2,91%, P 0,006%, S 0,019%, Cu 0,01%.

Многочисленные месторождения железных руд мезозойского возраста известны на территории ССС Р.

Н. М. Страхов выделял Северо-Евразийскую металлогеническую провинцию, в пределах которой образовались:

1) в юрский период: а) Липецкий и Тульский морские бассейны сидерит-гидрогётитовых (преимущественно гидрогётитовых) руд; б) месторождения сидерит-гидрогётитовых руд Горьковской (Выксунское и др.) и Кировской (Омутнинская группа) областей; в) месторождения инфильтрационного типа Алапаевской группы (сидерит-стриговит-гидрогётитовые), связанные с корой выветривания пород восточного скло-

на Среднего Урала (беликовая толща $J_3 - K_1$); г) Орско-Халиловская группа латеритных осадочно-переотложенных месторождений (сидерит-лептохлорит-гидрогётитовые руды с хромом, никелем и кобальтом), связанных с корой выветривания ультраосновных пород Южного Урала;

2) в меловой период: а) Хоперский железорудный район; б) месторождения беликовой толщи восточного склона Урала; в) Аятский бассейн верхнемеловых морских руд (сидерит-шамозит-гидрогётитовых и лимонит-гидрогётитовых) в Восточном Зауралье.

Все эти месторождения, кроме Аятского, характеризуются мелкими размерами, и практическое значение их ничтожно.

К числу крупных мезозойских месторождений железных руд принадлежат Аятский железорудный бассейн в Восточном Зауралье (общие запасы около 7 млрд. т) и открытый в 1956 г. огромный Западно-Сибирский (Колпашевский) бассейн (K_2—Р), охватывающий территорию Томской и части Новосибирской областей, с перспективными запасами руд порядка 150 млрд. т.

В пределах *Аятского* бассейна горизонт оолитовых бурых железняков турона и сантона прослеживается на протяжении десятков километров, а общая площадь распространения этих руд составляет около 2500 км^2. Мощность рудного горизонта 2–5 м, иногда она повышается до 9 м. Средняя глубина залегания руд 30 м; в долине р. Аят руды выходят на поверхность, а на водоразделах залегают на глубине до 80 м.

Рудный горизонт сложен бурыми железняками и содержит прослои лигнитовых глин. Первичные руды сидерит-лептохлоритового (шамозитового) состава вблизи выходов на поверхность превращен в окисные лимонит-гидрогётитовые и гидрогетитовые руды. Средний химический состав руд следующий: Fe 37,1%, SiO_2 16%, S 0,35–0,36%, P 0,37–0,40%, Al_2O_3 7,3–8,62%, CaO 1,62–1,80%, MgO 0,82–1,02%.

Западно-Сибирский (Колпашевский) бассейн морских осадочных оолитовых руд располагается в восточной части Западно-Сибирской низменности, в среднем течении р. Оби. Он вытянут в направлении, близком к меридиональному, на 300 км при ширине до 200 км. Оруденение приурочено к верхнемеловым и нижнетретичным пескам и алевролитам. Установлено четыре рудоносных горизонта (снизу вверх): Нарымский, Томский, Колпашевский и Бакчарский – мощностью от 1 до 30–35 м, залегающих горизонтально на глубинах от 100 до 450 м. Руды гидрогётит-лептохлоритового состава, оолитово-бобового сложения. Химический состав руд следующий: Fe 20–42,5%, Mn 0,1–0,3% (реже до 0,7–0,8%). Нижняя часть железорудных горизонтов местами содержит желваки и прослои, обогащенные фосфором: в среднем 2–4% P_2O_5, реже до 12–15%.

К Нарымскому и Колпашевскому горизонтам приурочены все руды бассейна, содержащие свыше 30% Fe. Колпашевский горизонт мощностью 12 м залегает на глубине 190–200 м. Запасы его по изученной бурением северной части бассейна ориентировочно оцениваются в 20 млрд. т при среднем содержании железа 36%. Остальные два горизонта образованы главным образом бедными рудами (20–30% железа).

Руды восточной части бассейна слагаются в значительной мере гидроксидами железа (гидрогётитами и гётитами), содержат зерна кварца, полевой шпат, глауконит и мелкий гравий и являются типичными прибрежно-морскими осадками. Далее к западу они сменяются более глубоководными осадками с большим количеством глинистых частиц и силикатных минералов (лептохлоритовых), возникающих в восстановительной среде.

Большинство советских геологов связывают образование промышленного оруденения Аятского и Западно-Сибирского бассейнов с морской трансгрессией мелового периода. Наиболее интенсивно рудонакопление протекало в мелководной прибрежной зоне крупных пологих синклинальных прогибов. Отличительной особенностью этих бассейнов служит преобладание гидрогётитовых руд (образующихся преимущественно в окислительной среде) у их периферии, а лептохлоритовых и сидерит-лептохлоритовых – в центральных частях. Для руд этих бассейнов характерно повышенное содержание марганца, фосфора, ванадия, что также подчеркивает их морское происхождение.

Многочисленные месторождения железных руд известны в пределах Сибирской платформы, в области развития траппов пермо-триаса, и тяготеют к краевым частям Тунгусской синеклизы. И. И. Краснов и В. Л. Массайтис (1955 г.) в пределах этой синеклизы выделяют шесть рудных районов: Тунгусский, рек Бахты и Подкаменной Тунгуски, Средне-Ангарский, Ангаро-Илимский, Ангаро-Катский и Илимпейский. Из всех месторождений этих районов наиболее изучены месторождения *Ангаро-Илимского* района, приуроченные к южной окраине платформы, к глубоким региональным зонам разлома. Месторождения представлены вулканическими трубками взрывов овальной формы и различных размеров, заполненными туфогенным материалом и брекчией, включающей обломки траппов, силурийских осадочных пород, а также туфов, туффитов и угленосных песчаников тунгусской свиты (P – C), в различной степени оруденелых.

Рудные тела имеют форму столбов, линз, штоков, иногда с неправильными изрезанными краями; нередко они выходят за пределы трубок и прослеживаются на протяжении до 2 км, а иногда и более. Мощность рудных тел достигает 600 м, но в среднем составляет 30–40 м. Оруденение представлено массивными (часто брекчиевидными) и вкрапленными рудами. По содержанию железа они подразделяются на богатые (45–60%), нормальные (25–45%) и бедные (15–25%).

Отличительной особенностью ангаро-илимских руд является необычный состав их основного рудного минерала: он представлен магномагнетитом, содержащим до 10% MgO. Г. А. Соколов считает это признаком, указывающим на геохимическую связь оруденения с траппами. Чем глубже залегают руды от поверхности, тем меньше в них оксида магния. Изменение относительного содержания оксида магния в магнетите А. Г. Бетехтин объясняет колебанием кислородного потенциала. В близповерхностных горизонтах в период рудообразования кислородный потенциал был выше, а избыток Fe_2O_3, возникавший при окислении

FeO магнетита, не мог входить в его решетку и заменялся оксидом магния из рудного раствора.

Кроме магномагнетита, руды содержат маггемит (магнитный оксид железа), а также примесь серпентинита, хлорита и хлорапатита. Часто они имеют натечные структуры (размеры „оолитов" достигают 1–1,5 см), что подчеркивает образование месторождений в гидротермальных близповерхностных условиях из растворов, имевших, по-видимому, в период рудоотложения коллоидный характер.

По мнению Г. А. Соколова, месторождения формировались в условиях проникновения базальтовой магмы через пласты каменной соли, и в связи с этим она обогащалась хлоридами. Об этом свидетельствует существенное количество хлора в апатитах, заключенных в рудах.

Наиболее интенсивно процесс рудообразования протекал в туфогенных отложениях, где были сформированы богатые руды, несколько слабее – в сильно нарушенных песчано-карбонатных породах, что привело к развитию метасоматических пород полосчатого и брекчиевидного сложения, и значительно слабее – в крупных глыбах осадочных пород, в которых образовались вкрапленные руды.

Благодаря повышенному содержанию оксида магния и оксида кальция руды Ангаро-Илимских месторождений близки к самоплавким, что значительно повышает их металлургическую ценность. В отдельных месторождениях руды содержат в среднем Fe от 34 до 46%, S от „следов" до 0,066%, P от 0,14 до 0,32%, MgO от 6,53 до 12,8%, CaO от 7,0 до 13,8%, SiO_2 до 8%.

В *Тунгусском* районе оруденение представлено пласто- и жилообразными залежами мощностью 1–30 м и протяженностью по простиранию до 800 м. Оно локализуется на контакте известняков с дайками и силлами габбро-диабазов. Преобладают полосчатые и вкрапленные руды. Главный рудный минерал – магнетит (магномагнетит), из нерудных – хлорит, кальцит и серпентин. Содержание Fe в рудах колеблется от 16 до 57%, CaO от 2 до 20% и MgO от 8 до 20%.

В районе рек *Бахты* и *Подкаменной Тунгуски* установлена локализация оруденения двух типов. Так, на месторождениях Бахтинской группы рудные залежи представлены крутопадающими пласто- и жилообразными телами длиной от 200 до 2000 м, мощностью порядка 20–30 м, сложенными вкрапленными брекчированными рудами. В месторождениях Кондоминской группы рудные тела имеют пластовую форму и согласно залегают с вмещающими породами. Протяженность залежей 2–2,5 км, видимая мощность – от 1 до 40 м. Текстура руд – оолитовая полосчатая грубозернистая. Основной рудный минерал – магномагнетит, нерудные – пироксен, гранат, эпидот и хлорит.

Содержание железа в обеих группах месторождений изменяется от 29 до 69%, оксида магния – до 11%.

В *Средне-Ангарском* районе наиболее изучено *Тагарское* месторождение, приуроченное к глубинному разлому. Оруденение в виде отдельных крупных залежей прослежено на площади 600 тыс. м². На месторождении выявлены три рудные залежи, самой крупной из которых

является рудное тело № 5, прослеженное по простиранию на 1800 м, по падению более чем 1000 м при мощности от 4 до 400 м. Магнетитовые руды представлены в основном (на 91%) плотными разностями брекчированной текстуры. Главный рудный минерал – магнетит, иногда мартит, гематит и лимонит; нерудные минералы представлены пироксеном, гранатом, хлоритом и кальцитом. Содержание Fe в рудах колеблется от 15 до 50%, CaO 6%, SiO_2 18,4% и Al_2O_3 6,6%.

Общие запасы железных руд по месторождению определены в количестве 265 млн. т, в том числе 243 млн. т разведано по категориямA+B+ +C_1.

Остальные месторождения этой группы (*Огненское, Восток, Пихтовое, Талое* I), а также *Берямбинское* и *Агалеевское* месторождения располагаются на расстоянии 5–17 и до 50 км от Тагарского и залегают в сходных геологических условиях, но по масштабам значительно уступают последнему.

Практический интерес представляет выявленное в Забайкалье *Березовское* месторождение, в котором около 90% запасов железной руды может быть отработано открытым способом. Железорудная толща месторождения мощностью от 80 до 300 м приурочена к нижнемеловым осадочным образованиям и прослеживается по простиранию почти на 10 км и по падению на 700 м. Первичные руды представлены сидеритом, окисленные – бурыми железняками, составляющими около $^2/_3$ общих запасов месторождения. Граница зоны окисления, следуя уровню грунтовых вод, проходит на глубине 100–200 м от поверхности. Основная масса руд (сидеритов и бурых железняков) имеет конгломератовидное сложение (конглобрекчии); меньше распространены руды плотного массивного или рыхлого сложения.

Химический состав руд Березовского месторождения: бурых железняков – Fe 43,1%, Mn 0,7%, S 0,06%, P 0,09%, SiO_2 10–27%, CaO 0,58–13,4%, MgO 0,32–9,16%; сидеритов – Fe 34,9%, SiO_2 10,3%, CaO 3,12%, MgO 1,8%, S 0,88%, P 0,66%, Mn 0,6%, п.п.п. – до 25%.

Представитель контактно-метасоматических месторождений – *Дашкесанское* месторождение магнетитовых руд на Кавказе, приуроченное к зоне контакта сложнодифференцированной гранитной интрузии нижнемелового возраста с карбонатными отложениями верхней юры. Пологозалегающее (от 8 до 20°) рудное тело имеет пластообразную форму. Оно прослежено на северо-западном участке по простиранию на 600 м и по падению на 900 м при мощности от 1 до 26 м, а на северо-восточном участке – по простиранию на 1500 м и по падению на 1300 м при мощности от 3 до 44 м. Руды сложены в основном магнетитом и гранатом, и в зависимости от их соотношения выделяются сплошные магнетитовые и вкрапленные скарновые руды. Средний химический состав руд: Fe 38,7%, P 0,08%, S 0,3%.

До открытия в начале 60-х годов месторождения Грут-Айленд в Австралии месторождения марганца мезозойского возраста имели небольшое практическое значение и так же, как верхнепалеозойские, отличались мелкими масштабами и невысоким качеством руд. Почти все они сосредоточены в двух районах – Средиземноморском, включающем месторождения и проявления марганца Марокко, Италии, Югославии, Чехословакии, Турции, и Тихоокеанском, включающем месторождения США, Мексики и Чили. К тому же району тяготеют месторождения Кубы.

Месторождение *Грут-Айленд* расположено на одноименном острове в заливе Карпентария (Северная территория). Марганцевые руды здесь приурочены к морским песчано-глинистым отложениям нижнего мела, залегающим на размытой поверхности среднепротерозойских пород. Основная часть руд состоит из пизолитов пиролюзита и криптомелана, часто сцементированных окислами марганца. Местами рудный горизонт представлен валунами и гальками, состоящими из плотно сцементированных пизолитов; в отдельных зонах руда представляет собой бесструктурную массу. Мощность рудного горизонта изменяется от 2 до 20 м (в среднем около 3 м). Общие и доказанные запасы марганцевых руд составляют 480 млн. т. Примерно 70% добываемой на месторождении руды содержит не менее 48% марганца. Производство товарной руды в 1980 г. составило 1962 тыс. т.

Среди ранее известных месторождений марганца мезозойского возраста наиболее крупные и богатые месторождения расположены в Марокко. Эксплуатация их началась незадолго до второй мировой войны. По масштабам запасов и добычи выделялись месторождения района *Имин*, рудные залежи которых в форме линзообразных тел приурочены к доломитам мелового возраста. Основной марганцевый минерал – псиломелан. Среднее содержание марганца в руде 48%. Другая группа месторождений марганца *Бу-Арфа* расположена в восточных отрогах Высокого Атласа. Здесь оруденение, приуроченное к известнякам пермотриаса, представлено залежами линзообразной формы, состоящими из смеси пиролюзита, гематита и кальцита. Руды содержат около 30% марганца и 15% железа. Небольшие месторождения марганца, по-видимому, мезозойского возраста известны и в других районах Марокко. Общие запасы марганцевых руд в стране оцениваются в 50 млн. т, в том числе достоверные – в 8 млн. т. Производство товарной руды в 1980 г. составило 130 тыс. т.

Весьма широко распространены месторождения марганца на Кубе. Они известны во всех ее провинциях, однако практическое значение имеют только месторождения провинции Орьенте. Здесь месторождения распространены на площади 7800 км^2 и залегают в породах свиты кобре (верхний мел), сложенной андезитами, базальтовыми и дацитовыми туфами, агломератами и в небольшом количестве кластическими и карбонатными породами.

Пласты марганцевых руд залегают среди пирокластических пород, а также в их прослоях в известняках. Марганцевые минералы представлены псиломеланом и пиролюзитом, развитыми в цементе туфов и агломератов; реже встречаются силикатные руды марганца. Мощность рудных тел колеблется от сантиметра до 15 м, длина их иногда превышает 1000 м. Содержание марганца в рудах изменяется от нескольких процентов до 45–50%. Как правило, марганцевые руды в пирокластических породах сопровождаются значительным количеством линз или тонких прослойков бурых, красных или черных яшм, которые обычно подстилают рудные тела и контролируют наиболее богатое оруденение. Месторождения в известняках характеризуются значительно меньшим развитием яшм. Наличие обломков марганцевых руд в несогласно перекрывающих свиту кобре отложениях свиты сан-луис (верхний эоцен) свидетельствует о том, что к моменту образования этой свиты марганцевые рудные тела района были уже сформированы.

Другой тип оруденения представлен неправильной формы метасоматическими телами в известняках и изредка в туфах, агломератах и других породах и контролируется дорудными разрывами. В отличие от пластовых месторождений, эти месторождения считаются эпигенетическими.

Запасы провинции Орьенте оценивались в 10 млн. т богатых марганцевых руд (в пересчете на концентрат) и в 4,5 млн. т бедных.

Мелкие месторождения марганца разрабатываются в Чили. К мезозойским, вероятно, относятся месторождения, расположенные в отрогах Кордильер. Район их распространения сложен осадочными и вулканогенными образованиями юрского и мелового возраста, среди которых залегают пласты марганцевых, преимущественно пиролюзитовых руд мощностью от 0,3 до 0,9 м. Содержание марганца в рудах 36–44%. Общие запасы руд составляют 22 млн. т, а годовое производство товарной руды – 40 тыс. т.

ХРОМ

Промышленные месторождения хромитов мезозойского возраста известны только в нескольких странах Западного полушария и Южной Европы.

На Кубе они располагаются в поясе верхнемеловых серпентинизированных ультраосновных пород, представленных дунитами, пироксенитами и анортозитами. Ультраосновные породы местами прорваны дайками диабазов, диоритов и габбро. Залежи хромитов штокообразной, линзообразной и жильной формы приурочены преимущественно к дунитам и отличаются сравнительно небольшими размерами.

Часто они нарушены сбросами небольшой амплитуды и интрудированы мелкими дайками диабазов и габбро.

Различаются два типа руд: массивная руда, сложенная хромитом с небольшим количеством серпентина и полевого шпата, и вкрапленная, состоящая из желваков и октаэдров хромита в основной массе серпентинита. Вкрапленные руды часто имеют полосчатое строение. Химичес-

кий состав руд изменяется в широких пределах. Содержание в них Cr_2O_3 от 22 до 57%, Fe от 9,7 до 14,4%. Преобладают низкосортные руды.

С коренными месторождениями обычно связаны остаточные скопления хромитов, которые являются продуктом выветривания хромитсодержащих серпентинитов. Они залегают сплошным покровом мощностью от 15 см до 1 м, образуя местами карманы глубиной до 3 м. Верхний слой их состоит из тонкораздробленного хромита, нижний представлен угловатыми и округленными кусками плотного или тонкозернистого хромита, перемешанного с латеритной глиной.

Общие запасы хромитов Кубы на начало 1959 г. оценивались в 5 млн. т, в том числе достоверные – в 2 млн. т. Максимальная добыча (359 тыс. т) была достигнута в 1943 г.

Многочисленные месторождения хромитов, приуроченные к юрским и меловым серпентинизированным ультраосновным породам, известны в С Ш А, в штатах Калифорния и Орегон. Месторождения характеризуются мелкими масштабами, резким преобладанием вкрапленных руд по сравнению с массивными и пестрым составом. В рудах разведанных месторождений содержание Cr_2O_3 колеблется от 30 до 40%, редко достигает 50%.

В пределах Южной Европы месторождения хромитов известны в Югославии, Греции, Албании и Болгарии, где все они, по-видимому, связаны с ультраосновными интрузиями юрского возраста.

В Ю г о с л а в и и бóльшая часть месторождений хромитов приурочена к перидотитовым массивам, распространенным в районе Скоплье-Люботинь. Жилы и неправильной формы гнездообразные скопления хромитов залегают в серпентинитах вблизи их контакта со сланцами. Руды отличаются весьма непостоянным составом, содержание оксида хрома в них колеблется от 15 до 50%. Общие запасы руды в пересчете на концентрат с содержанием Cr_2O_3 48% до второй мировой войны оценивались в 12 млн. т.

В Г р е ц и и залежи хромитов обычно располагаются в серпентинитах вблизи их контакта с известняками. Преобладают огнеупорные руды, в которых среднее содержание Cr_2O_3 составляет 37–42%, Fe_2O_3 12% и Al_2O_3 19–25%. Более богатые металлургические руды со средним содержанием Cr_2O_3 45% встречаются реже. Достоверные запасы руд составляют 1 млн. т. Добыча хромитов в последнее время не превышает 35 тыс. т в год.

Многочисленные месторождения хромитов А л б а н и и и Б о л г а р и и по условиям залегания, форме рудных залежей и качеству руд весьма сходны с хромитами Греции. В Албании месторождения приурочены к интрузиям ультраосновных пород – преимущественно перидотитов (гарцбургитов, реже верлитов) с резко подчиненными им пироксенитами и дунитами, прорывающим известняки и доломиты среднего триаса. Внедрение их, вероятно, произошло в юрский период. Залежи хромитов главным образом жилообразной формы представлены в основном вкрапленными рудами, значительная часть которых по качеству отвечает требованиям металлургической промышленности.

С верхнемеловыми (а может быть, и с третичными) гипербазитами связаны месторождения хромитов И р а н а. Некоторые из них разрабатываются. В добываемых рудах содержание Cr_2O_3 колеблется от 40 до 50%. В 1976 г. добыча хромитов достигла 160 тыс. т и снизилась к 1980 г. до 80 тыс. т. Достоверные их запасы составляют 2 млн. т.

АЛЮМИНИЙ (БОКСИТЫ)

Бóльшая часть промышленных месторождений бокситов мезозойского возраста сосредоточена в южной части Европы, в пределах Средиземноморской геосинклинали. Месторождения бокситов этой обширной области образуют два протяженных пояса. Один из них протягивается от северо-восточных районов Испании через Пиренеи, вдоль северного берега Средиземного моря, через южную часть Франции и Италии до восточного берега Адриатического моря в Югославии и далее через Грецию и Эгейские острова в Турцию. Вполне вероятно, что этот пояс имеет продолжение в Азии и от Турции через Южный Иран тянется в Северную Индию, а затем через Малайзию на Зондские острова. К азиатской части пояса приурочены месторождения и проявления бокситов в Турции, Иране, Индии (в Западных Гималаях). Другой пояс расположен севернее и включает месторождения бокситов Центральной Австралии, Венгрии и Румынии (рис. 82).

В Европе все мезозойские месторождения бокситов ассоциируют с известняками и доломитами. В большинстве месторождений бокситы непосредственно контактируют с вмещающими известняками. Реже они окаймлены и отделены от известняков красноватым землистым материалом, известным под названием терра росса (terra rossa). Нередко этот материал встречается в самих бокситах в форме жилообразных скоплений. Обычно бокситы представлены плотными, сравнительно твердыми моногидратными разностями. Главным породообразующим минералом в них является бёмит. В некоторых месторождениях вместе с ним присутствуют гиббсит или диаспор. Преобладают красные железистые бокситы, среди которых иногда встречаются кремнистые разности.

Сравнительно крупные месторождения бокситов сосредоточены во Ф р а н ц и и, где они расположены вдоль Средиземноморского побережья. Полоса бокситоносных пород протягивается от северных предгорьев Пиренеев параллельно изгибу Лионского залива и заканчивается восточнее Тулона в Приморских Альпах. Здесь выделяются три бокситоносных района: Субпиренейский, Лангедокский и Провансальский. Между первыми двумя районами расположена депрессия Гаронны, где бокситоносный мезозой глубоко погружается под толщу третичных отложений. Бокситы в этих районах не одновозрастны. Бóльшая их часть, по-видимому, относится к альбу или апту, так как они залегают на отложениях от нижней юры (лейас) до нижнего мела (баррем, апт) и перекрываются отложениями верхнего мела (от сеномана до маастрихта). Все эти отложения подверглись в эоцене интенсивным процессам складкообразования и дизъюнктивным нарушениям.

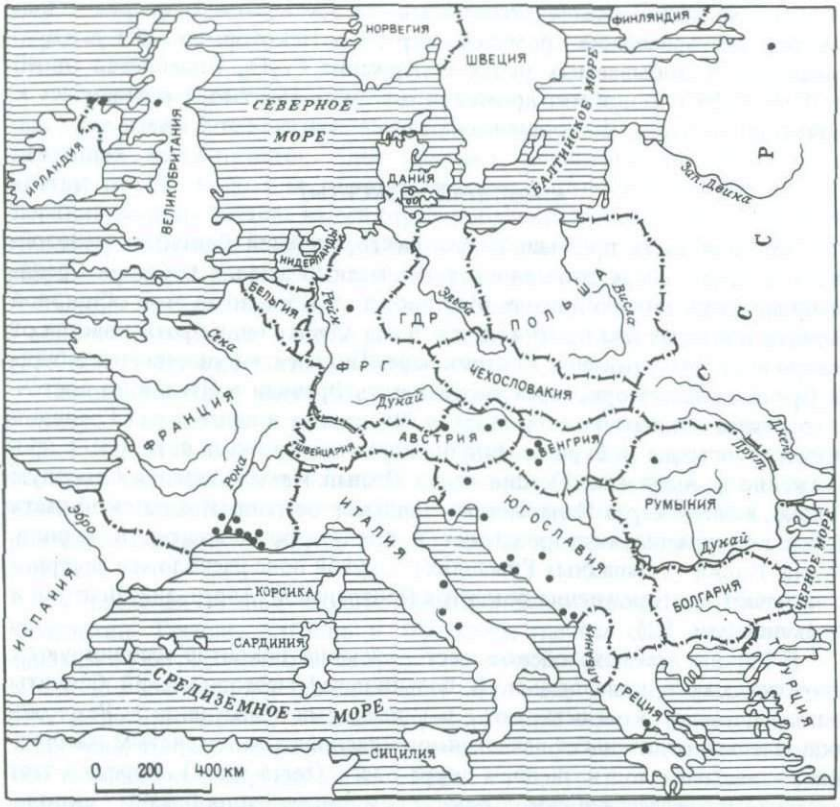


Рис. 82. Размещение месторождений *бокситов* (показаны точками) в Западной Европе

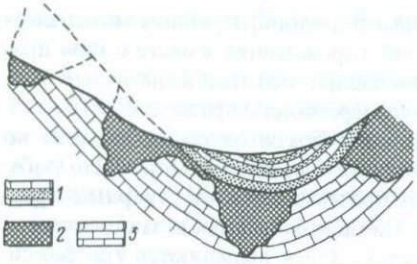


Рис. 83. Месторождение бокситов в форме *карманов (департамент Вар, Франция)*:

1 – пески и известняки верхнего мела (континентальные); *2* – бокситы; *3* – известняки верхней юры

Разрабатываемые залежи представлены преимущественно пластами, реже гнездами („карманами") бокситов и отличаются крупными размерами (рис. 83). При мощности от 2–5 до 18 м и ширине до 2–3 км отдельные пласты бокситов прослеживаются по простиранию на 20 км и более. Многие гнезда достигают 100 м в поперечнике при глубине до 30 м. Они группируются в отдельные полосы и соединяются между собой узкими бокситовыми перемычками. Нижняя часть пластовых залежей состоит из красного железистого боксита, который кверху посте-

пенно светлеет и становится в центральной части пласта розовым, а в верхней – серым и белым. Гнезда нацело сложены красной разностью боксита. Преобладают моногидратные бёмитовые бокситы, встречаются бёмит-гидраргиллитовые, а в Пиренеях развиты диаспоровые бокситы, характерные также для месторождений Испании.

Основная часть запасов и добыча бокситов во Франции приходятся на месторождения департамента Вар. Бокситы этих месторождений характеризуются высоким качеством. Среднее содержание в них Al_2O_3 составляет 60% (иногда достигает 70%), SiO_2 – менее 5%, Fe_2O_3 – от 0,8 до 26%, TiO_2 от 0,9 до 3,6%. Особенно высоким качеством отличаются белые бокситы месторождения *Торонэ*, в которых низкое содержание Fe_2O_3 (0,4%) и SiO_2 (0,3%) сочетается с высоким содержанием Al_2O_3 (до 81–82%). В 1958 г. на этом месторождении было добыто около 1,5 млн. т бокситов. Другие месторождения, расположенные в департаментах Буш-дю-Рон, Восточные Пиренеи, Эро и Арьеж, по запасам и качеству бокситов значительно уступают месторождениям департамента Вар.

Общие запасы бокситов Франции оцениваются в 70 млн. т, а доказанные запасы составляют 40 млн. т. Эксплуатация месторождений бокситов во Франции была начата еще в 1879 г., однако серьезное развитие добыча получила лишь в XX в. Перед первой мировой войной добыча достигала 300 тыс. т в год, перед второй 600–700 тыс. т. В годы фашистской оккупации немцы старались форсировать добычу бокситов во Франции для снабжения ими глиноземных заводов Германии и захваченных ею стран, и в 1943 г. было добыто 900 тыс. т. Добыча бокситов продолжала развиваться быстрыми темпами и после войны. В 1975 г. составила 2500 тыс. т, а в 1980 г. она снизилась до 1890 тыс. т. В 1980 г. произведено 551 тыс. т алюминия, в том числе 396 тыс. т первичного.

В сходных геологических условиях находятся месторождения бокситов И т а л и и, расположенные в различных районах Апеннин и датируемые верхним мелом (от сеномана до турона). От месторождений Франции они отличаются меньшими размерами и более низким качеством руд. В 1980 г. в Италии добыто 22 тыс. т бокситов. Общие запасы их составляют 25 млн. т при содержании глинозема 43–58%. Производство алюминия в 1980 г. составило 511 тыс. т, в том числе 269 тыс. т первичного. В Италии издавна известны и другие виды алюминиевого сырья – алуниты и лейциты, которые в настоящее время не разрабатываются.

Крупными ресурсами бокситов обладает Ю г о с л а в и я. Многочисленные месторождения расположены в юго-западной части страны, тяготеющей к Адриатическому морю. Бóльшая часть бокситов связана с отложениями среднего миоцена, но известны промышленные залежи, приуроченные и к границе между третичными и меловыми отложениями, а также к меловым и триасовым. Так, месторождения Хорватии, Словении и отчасти Черногории относятся к верхнему триасу.

В Словении, Герцеговине и Черногории наряду с третичными бокситами известны продуктивные горизонты позднемелового возраста. Наиболее крупными являются пластовые залежи бокситов верхнетриа-

сового возраста в районе Велебитского хребта (Хорватия). Качество их сравнительно невысокое, так как значительная часть глинозема связана с кремнеземом в форме алюмосиликатов.

По запасам бокситов Югославия занимает второе место в Европе. Добыча бокситов составила в 1978 г. 2077 тыс. т. Бóльшая часть добываемых бокситов экспортируется. Годовая выплавка алюминия составила 197 тыс. т и сохраняет тенденцию к увеличению.

Многочисленные месторождения бокситов известны на территории Г р е ц и и. Наиболее крупные из них расположены в районе Парнасских гор и на некоторых островах Эгейского архипелага. Меньшее значение имеют месторождения, расположенные в районе, примыкающем к Ионическому морю, на продолжении бокситоносной приадриатической полосы Югославии. Линзы и пластообразные залежи бокситов греческих месторождений приурочены к контакту меловых и юрских известняков и представлены бокситами моногидратного (диаспорового) типа. В разрабатываемых месторождениях бокситы характеризуются высоким содержанием глинозема (от 55 до 62%) и железа (до 20–28%), большими колебаниями в содержании кремнезема (от 1–2 до 11%, нередко выше) и сравнительно высоким содержанием титана, иногда с небольшой примесью хрома и галлия. Общие запасы бокситов в Греции оценивались в 760 млн. т, в том числе доказанные 500 млн. т. В 1980 г. было добыто 2910 тыс. т бокситов.

В стране интенсивно расширяется производство глинозема и первичного алюминия. В 1979 г. выпуск глинозема составил 490 тыс. т. В дальнейшем намечается строительство двух глиноземных заводов по 600 тыс. т каждый, что позволит увеличить производство глинозема до 1800 тыс. т. В 1979 г. произведено 140,8 тыс. т алюминия. Бóльшая часть добываемых бокситов экспортируется.

К меловому возрасту относятся бокситы В е н г р и и, залегающие на поверхности триасовых, юрских и нижнемеловых доломитов под отложениями верхнего мела и эоцена. Бокситы относятся к бёмитовым или гиббсито-бёмитовым разностям. Большинство их запасов сосредоточено в пластообразных залежах, площадь которых обычно превышает 1 км^2 при относительно выдержанной мощности, достигающей 25–30 м. Линзовидные и блоковые залежи отличаются менее крупными размерами и изменчивой мощностью. Бокситы в основном добываются подземным способом. По отдельным разрабатываемым месторождениям содержание Al_2O_3 в бокситах колеблется от 52 до 61%, SiO_2 – от 2 до 6%, Fe_2O_3 – от 16 до 24%, TiO_2 – от 1,8 до 2,9%.

Сравнительно небольшие месторождения бокситов известны в Р у м ы н и и. Они расположены в горном массиве Бихор, где продуктивные пласты, линзы и гнезда бокситов залегают на известняках верхней юры (титона) и перекрываются известняками и печаниками мела. Бокситы представлены диаспоровыми разностями. Иногда они содержат в незначительном количестве пирит, оксиды марганца и апатит.

Широко распространены мезозойские бокситы на территории Т у р ц и и, особенно в Западном Тавре, на южном Средиземноморском и

Черноморском побережье. До последнего времени здесь были известны только мелкие месторождения, но в Анталье, около Аксеки, открыто месторождение бокситов, перспективные запасы которого оценивались в 65 млн. т. В месторождениях Турции бокситы представлены красными диаспоровыми разностями, в которых содержится Al_2O_3 50–63% и SiO_2 3–5%. Они образуют два стратиграфически выдержанных пласта – один в юрских, другой в меловых известняках. Общие запасы бокситов Турции с учетом запасов месторождений кайнозойского возраста оцениваются в 200 млн. т, а доказанные в 135 млн. т. В 1980 г. добыча их составила 420 тыс. т.

Бокситовые залежи диаспорового типа известны в И н д и и, в Западных Гималаях, где они залегают между юрскими известняками и эоценовой угольной формацией.

Весьма разнообразные по качеству руд и условиям залегания месторождения бокситов мезозойского возраста известны в С С С Р. В одних случаях залежи бокситов выполняют карстовые депрессии в карбонатных отложениях, в других – эрозионные впадины в силикатных породах или залегают на коре выветривания более древних пород или на продуктах ее перемыва. Большинство месторождений характеризуется сравнительно небольшими масштабами минерализации. Особенно широко они развиты в Казахстане, где образуют Северо-Казахстанскую бокситовую провинцию. Большая часть бокситов относится к платформенному гиббситовому типу и представляет собой латеритизированные кластогенно-хемогенные озерно-болотные осадки, залегающие в карстовых впадинах, а также на коре выветривания палеозойских пород или продуктах ее переотложения и иногда на юрских угленосных отложениях. Бокситонакопление продолжалось от апта до верхнего мела и палеогена включи-

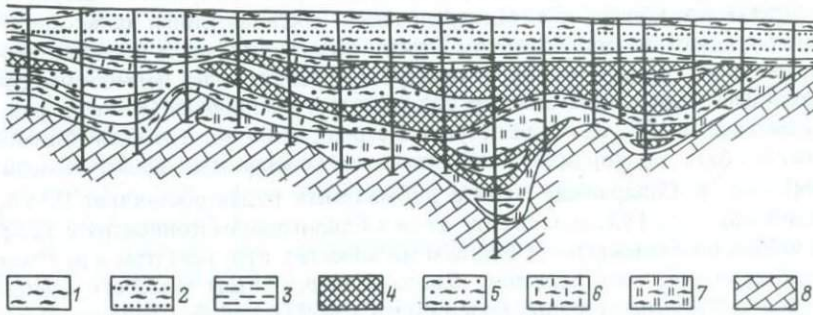


Рис. 84. Разрез залежи III Краснооктябрьского месторождения бокситов:

1 – суглинки, супеси; *2* – пески разнозернистые, кварцевые, глины разноцветные, чиликтинская свита; *3* – глины листоватые, темно-зеленого цвета, чеганская свита; *4–7* – бокситоносные отложения сеноман-туронского возраста: *4* – бокситы каменистые и рыхлые, *5* – аллиты глинистые (бокситовая глина), *6* – глины каолинитовые, белые, *7* – глины пестроцветные; *8* – известняки визе-намюрского возраста

тельно. По масштабам оруденения выделяется *Краснооктябрьское* месторождение (рис. 84), меловые бокситоносные отложения которого приурочены к полосе карбонатных пород визе-намюрского возраста, залегающих среди эффузивно-туфогенной толщи палеозойского фундамента. Бокситы и вмещающие их глины залегают в виде прерывистого пласта и выполняют впадины в рельефе фундамента.

Значительные площади развития сравнительно небольших залежей мезозойских бокситов установлены в Восточной Сибири, где продуктивны нижнемеловые отложения, выполняющие карстовые воронки и полья в карбонатных породах нижнего кембрия или эрозионные котловины в докембрийских породах. Считают, что источником глинозема для образования бокситоносных отложений служила широко распространенная в этих районах кора выветривания на траповых интрузиях и других алюмосиликатных породах.

МЕДЬ

В прошлом особенно меднорудные промышленные месторождения мезозойского возраста встречались сравнительно редко и только в последнее время приобрели большое экономическое значение в связи с открытием и освоением многочисленных месторождений меднопорфировых и медноколчеданных руд в Британской Колумбии в К а н а д е.

Большинство меднопорфировых месторождений и основные разведанные их запасы и добыча меди сосредоточены в рудном районе Хейленд-Валли, где на небольшом расстоянии друг от друга расположены месторождения *Бетлехем, Лорнекс, Вэлли-Коппер, Хаймонт, Джей-Эй, Троян, Олвин* и *Мэгги.* Район находится в центре нижнеюрского батолита Гуичон, длинная ось которого протягивается на 65 км в северо-северо-западном направлении. Рудные тела залегают среди кварцевых диоритов Бетлехем или вблизи них. Минерализация, представленная халькопиритом, борнитом и молибденитом, носит штокверковый и прожилково-вкрапленный характер и характеризуется сравнительно невысоким содержанием меди и повышенным содержанием молибдена. Освоение района началось с 1962 г., когда вступал в строй горно-обогатительный комбинат на базе месторождения *Бетлехем* с разведанными запасами меди 1850 тыс. т. Содержание меди в добываемых рудах составляет 0,55%, молибдена – 0,018%, содержание меди в одноименном концентрате 32%; молибден не извлекается. Сходным по качеству руд, наиболее крупным представляется месторождение *Вэлли-Коппер,* запасы которого оцениваются в 900 млн. т руды, содержащей 0,46% меди, без существенной примеси молибдена. Месторождение разрабатывается открытым способом при проектной производительности 75 тыс. т руды в сутки и годовом производстве меди в концентрате около 90 тыс. т.

На эксплуатируемом месторождении *Айленд-Коппер* доказанные запасы руд определены в 280 млн. т, меди в них 1450 тыс. т, молибдена 48 тыс. т. В добываемых рудах содержание меди составляет 0,52% и молибдена 0,17%, в одноименных концентратах – меди 24% и молибдена 90% при общем извлечении 88 и 67%.

В добываемых рудах месторождения *Лорнекс* (годовое производство 147 тыс. т меди и 11 тыс. т молибдена в концентратах) содержание меди составляет 0,43% и молибдена 0,014%, соответственно в рудах месторождения *Казино* 0,37 и 0,04%, *Гибралтар* 0,37 и 0,01% и *Бренда* 0,183 и 0,049%. На месторождении Бренда разрабатывается открытым способом более богатая часть руд, содержащих 0,212% меди и 0,063 молибдена. Общие запасы руд месторождения составляют 177 млн. т.

В провинции Юкон разведано месторождение меднопорфировых руд *Кэсиноу*, запасы которого на начало 1971 г. составляли 162 млн. т руды, содержащей 0,37% (600 тыс. т) меди и 0,023% молибдена, прогнозные запасы превышают 1 млрд. т руды. Месторождение приурочено к штоку кварц-монцонит-порфиров, абсолютный возраст которых определен в 70 млн. лет (поздний мел).

К мезозою, по-видимому, относится также разведанное в Квебеке меднопорфировое месторождение *Гаспе*, запасы руд которого определены в 230 млн. т, меди 1,0 млн. т и молибдена 62 тыс. т.

Медноколчеданные месторождения Британской Колумбии расположены в Кордильерах и приурочены к сильно метаморфизованным и часто брекчированным вулканогенно-осадочным образованиям верхнего триаса, прорванным юрскими гранодиоритами, кварцевыми диоритами и диоритами. По масштабам оруденения выделяется месторождение *Крейджмонт*, представленное двумя рудными залежами. Одна из них прослежена по простиранию на 660 м, по ширине на 69 м, другая – на 300 м, по ширине на 93 м. Достоверные и вероятные запасы этих залежей составляют 22,6 млн. т руды с содержанием меди несколько выше 2% и около 5 млн. т руды со средним содержанием меди 0,5%.

В Британской Колумбии с конца 1977 г. начали действовать рудник и обогатительная фабрика на месторождении *Афтон*, расположенном в пределах диоритового батолита и ассоциирующих с ним штоков порфиритов. Оруденение сосредоточено в двух зонах. Зона окисления представлена главным образом самородной медью и халькозином, а первичная сульфидная зона – халькопиритом и борнитом.

Зона окисления прослеживается до глубины 500 м в восточной части месторождения и до глубины 250 м на западе его. Зона первичных руд характеризуется отсутствием самородной меди.

Запасы верхней зоны составляют 34 млн. т руды, содержащей 1% меди, 0,58 г/т золота и 4,1 г/т серебра.

В сульфидной зоне предварительно подсчитаны запасы 10 млн. т руды, содержащей 1,6% меди.

В мезозое образовалось месторождение медно-серебряных руд *Сэм-Гузли* в центральной части Британской Колумбии, приуроченное к юрским окварцованным и алунитизированным пирокластическим отложениям. Месторождение состоит из двух самостоятельных рудных тел: Главной зоны и Южного ответвления. Протяженность каждого из рудных тел около 1 км. Они приурочены к пластообразной зоне в вулканогенных породах; основные рудные минералы в них – халькопирит и тетраэдрит, содержащие бóльшую часть промышленного серебра, меди и золота. Присутствуют также пирит, пирротин, сфалерит и арсенопирит.

В 1979 г. начаты подготовительные работы к освоению месторождения. Предполагалось, что суточная мощность обогатительного предприятия составит 4,5 тыс. т и к 1985 г. годовая продукция достигнет 177 тыс. т кг серебра, 6,4 тыс. т меди, 340 кг золота и 1,7 тыс. т сурьмы. Запасы месторождения оцениваются в 28 млн. т руды со средним содержанием 87,4 г/т серебра, 0,384% меди и 0,8 г/т золота.

К мезозойскому возрасту, возможно, относится и скарновое месторождение *Френч*, расположенное также в Британской Колумбии и разрабатываемое уже несколько десятков лет. Рудные скарны приурочены здесь к контакту гранодиоритов с вулканогенно-осадочной толщей триасового возраста. В качестве характерной закономерности отмечается строгая приуроченность скарнов к крутопадающим участкам контакта, между тем как известняки, примыкающие к пологим контактам, остаются нескарнированными. Основные рудные минералы – борнит, халькопирит и самородное золото. Из руд извлекаются также теллуриды. Скарновые минералы представлены гранатом, диопсидом, волластонитом, геденбергитом, аксинитом и эпидотом.

К мощной зоне брекчированных ороговикованных аргиллитов юрского – нижнемелового возраста приурочены медные руды месторождения *Канама.* Брекчия этих пород цементируется агрегатом кварца, хлорита, полевого шпата, мусковита и каолина. Рудные участки приурочены к периферии брекчированной зоны и наряду с перечисленными минералами содержат турмалин, халькопирит, пирротин, пирит; реже встречаются уранинит и молибденит. Предполагают, что брекчия представляет собой первичный обломочный горизонт, погребенную каменную осыпь или конус выноса.

С учетом докембрийских месторождений общие запасы меди Канады составляют 32 млн. т, а доказанные – 26 млн. т при содержании ее в руде 0,5–3%.

Многочисленные, но преимущественно небольшие месторождения убогих руд типа медистых песчаников распространены в ряде районов С Ш А. По масштабам оруденения выделяется месторождение *Насимьенто,* расположенное в штате Нью-Мексико. Оруденелыми являются песчаники триаса, прослеженные на протяжении 30 км вдоль зоны разлома. Запасы руд, представленных в основном халькозиновыми разностями, составляют 10 млн. т при содержании меди 0,67%. Выше уровня грунтовых вод сульфидная минерализация сменяется интенсивно окисленными рудами, содержащими, главным образом, малахит и азурит. Запасы этих руд оцениваются в 3 млн. т. Разработка месторождения начата в 1971 г. Проектная производительность карьера определена в 3000 т руды в сутки.

Небольшие месторождения меди мезозойского возраста встречаются на Аляске и в Калифорнии. К тому же возрасту относится часть медноколчеданных месторождений Я п о н и и, а также большинство медных месторождений, расположенных в районах платформенной области К Н Р и связанных с яньшанскими движениями.

В КНР скарновые месторождения приурочены к контакту яньшан-

ских гранодиоритов и диоритов с известняками карбона, перми или триаса либо расположены в некотором удалении от этого контакта.

Рудные тела представлены пластообразными залежами, гнездами, линзами и участками вкрапленных руд. Наибольшее значение имеют пластообразные залежи, которые обычно залегают согласно с напластованием пород и слагаются в основном пирротином и пиритом, реже магнетитом. Кроме того, они содержат в переменных количествах халькопирит, гематит, сфалерит, галенит, арсенопирит, шеелит и молибденит. Вторичные минералы представлены малахитом, борнитом, халькантитом, хризоколлой. Из скарновых минералов присутствуют гранат, пироксен (диопсид) или эпидот, тремолит, кварц и кальцит. Пластообразные залежи отличаются богатым содержанием меди. Гнезда, линзы и другие рудные тела неправильной формы сложены скарнами преимущественно магнетитового состава.

В провинции Цзянсу вблизи г. Дэсин разведаны два месторождения меднопорфировых руд (*Туньчан* и *Фуцзяу*) предположительно яньшанского возраста. Рудоносными породами являются гранитоиды, залегающие среди филлитов и кристаллических сланцев. Добываемые в небольших карьерах медные руды флотируются на фабрике суточной производительностью 4 тыс. т. Началось строительство обогатительной фабрики с суточной производительностью 192,5 тыс. т. Достоверные запасы меди в рудах этих месторождений, содержащих 0,4–0,5% меди, оцениваются в 10 млн. т металла. Наряду с медью из порфировых руд предполагалось извлечение молибдена, рения, золота, серебра и серы.

Мезозойскими, вероятно, являются впервые учтенные запасы меди в Таиланде по двум небольшим месторождениям *Пху-Хин-Лек-Фай* и *Пху-Тхонг-Даенг*, расположенным в провинции Лоэй. Общие запасы первого месторождения подсчитаны в количестве 65 млн. т руды, содержащей 0,7–1% меди, а второго – в 13 млн. т руды с таким же содержанием меди. В рудах содержатся также свинец, цинк и молибден. Оба эти месторождения приурочены к осадочно-вулканогенным породам силура–девона, прорванным малыми интрузиями кварцевых порфиров и диорит-порфиров триаса. Месторождения разведывались в середине 60-х годов. В 1973 г. разведочные работы на них были возобновлены.

В ЮАР к мезозою относится группа жильных месторождений района Мессина в Трансваале. Они приурочены к гранулитовым метаморфическим породам мобильного пояса Лимпопо и генетически связаны с вулканической деятельностью карру (210–170 млн. лет). На их базе действуют три рудника и медеплавильный завод общей годовой мощностью 15 тыс. т черновой меди.

В СССР мезозойскими считают некоторые колчеданные месторождения Малого Кавказа, синхронные среднеюрским (байос) кварцевым порфирам, кератофирам и альбитофирам и генетически (в смысле общности магматического очага) с ними связанные. Это подтверждается тем, что в вулканогенной толще бата колчеданные месторождения отсутствуют, а в базальных конгломератах в основании этой толщи найдены галь-

ки пирита и кислых пород с вкрапленностью сульфидов. Развитые в этих районах гранодиориты и кварцевые диориты, с которыми некоторые исследователи генетически связывают оруденение, значительно моложе указанных рудоносных пород и прорывают не только покровные, но и залегающие выше толщи верхней юры и нижнего мела.

По масштабам ресурсов выделяется месторождение *Кизил-Дере*, расположенное в Дагестанской АССР и приуроченное к глинистым сланцам и мелкозернистым песчаникам ааленского яруса средней юры. Долиной одноименной реки месторождение разделено на два участка – Правобережный и Левобережный, удаленных друг от друга на 400 м. Правобережная залежь сложена первичными массивными медноколчеданными рудами, а Левобережная в центральной части аналогичными рудами, которые на флангах сменяются цинково-колчеданными рудами. Содержание меди в рудах варьирует от 1,2 до 12,6%, а цинка в цинковых рудах от 2,1 до 4,9%.

НИКЕЛЬ, КОБАЛЬТ

Мезозойские месторождения никеля и кобальта, представляющие практический интерес, известны только в СССР и в Южной Африке.

Месторождения С С С Р представлены двумя генетическими типами: медно-никелевыми сульфидными рудами, развитыми в Восточной Сибири, и силикатными рудами, распространенными на Южном Урале и в Северо-Западном Казахстане.

Месторождения медно-никелевых сульфидных руд расположены преимущественно в Норильском районе, на северо-западной окраине Сибирской платформы. Этот район характеризуется переходными чертами между типично платформенными и складчатыми областями. В его строении принимают участие породы синия, морские отложения палеозоя, континентальные осадки пермо-карбона и лавы траппового вулканизма перми и триаса (рис. 85).

Установлены четыре цикла траппового вулканизма, из которых первый происходил в перми, а остальные три – в триасе. К первому циклу относятся излияния лав спилитового состава и пластовые интрузии титанавгитового диабазового порфирита, ко второму – излияния различных по составу лав и интрузий пойкилоофитовых долеритов. Наибольший практический интерес представляет третий (второй триасовый) цикл траппового вулканизма, который после излияния базальтовых лав завершился интрузиями дифференцированных габбро-диабазов, а также габбро-диоритов. С интрузиями габбро-диабазов пространственно и генетически связано сульфидное медно-никелевое оруденение, а с габбро-диоритами – магнетитовое. К четвертому циклу относятся излияния лав и дайкообразные интрузии габбро-долеритов.

Рудоносные интрузии отличаются несимметричнослоистым строением, обусловленным изменением их состава от богатых оливином накритовых габбро-диабазов внизу до микропегматитовых пород вверху. Они

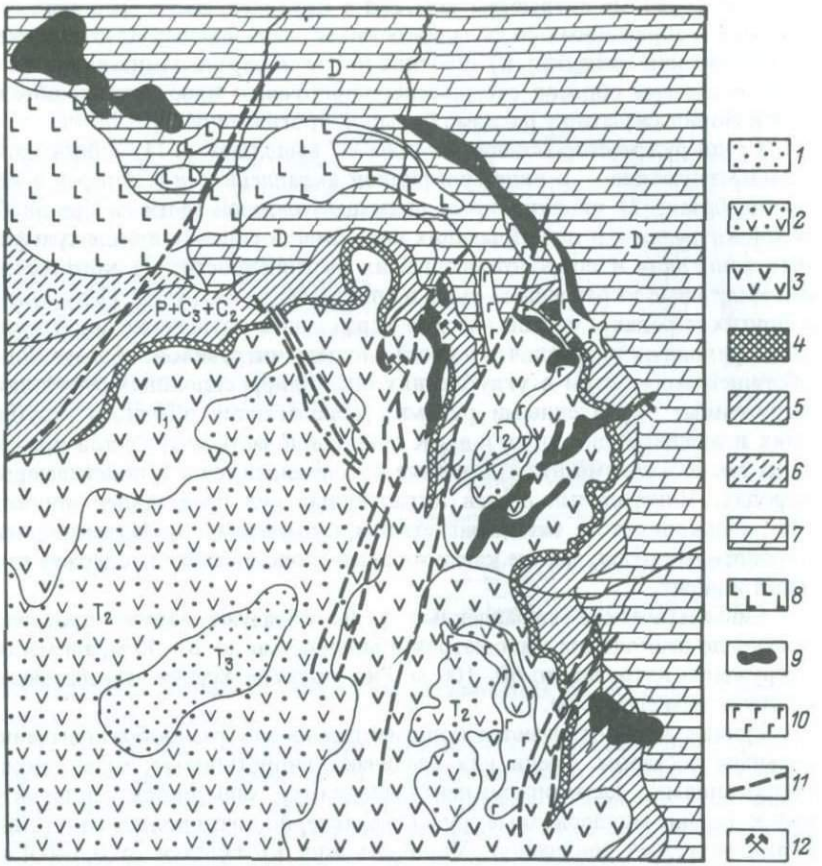


Рис. 85. Схема геологического строения Норильского рудного поля *(по Н. С. Зонтову)*:

1–3 – лавы третьего *(1)*, второго *(2)*, первого *(3)* вулканических циклов триаса; *4* – лавы пермского вулканического цикла; *5* – осадочные породы верхнего палеозоя *(тунгусская серия)*; *6* – осадочные породы нижнего карбона (морские известняки); *7* – осадочные породы девона; *8* – долериты и габбро-долериты второго триасового цикла; *9* – дифференцированные габбро-диабазы второго триасового цикла; *10* – габбро-долериты третьего триасового цикла; *11* – сбросы; *12* – медно-никелевые месторождения. (В целях упрощения на схеме не показаны интрузивные силлы пермского и первого триасового циклов)

локализуются в пределах относительно узкого стратиграфического горизонта, определяемого положением осадочных пород тунгусской серии, и в их размещении намечаются следующие закономерности: а) пологопадающие интрузивы располагаются в пределах синклинальной складки в зоне межформационных срывов, сопряженных со складчатостью;

б) дайкообразные интрузивы залегают в крутопадающих трещинах скалывания, сопряженных со складчатостью и диагональных по отношению к простиранию складки; в) оба типа интрузивов пространственно тяготеют к системе сбросов северо-северо-восточного простирания, образующей Норильскую зону разлома большой протяженности.

Среди руд месторождения *Норильск-1* выделяются: 1) ликвационно-магматические – в виде сульфидной вкрапленности и шлиров в габбро-диабазах; 2) инъекционные руды в придонной части габбро-диабазовой интрузии и в подстилающих интрузию породах – в виде сульфидных жил, линз и сопровождающей их вкрапленности; 3) контактово-инъекционные вкрапленные руды во вмещающих интрузию эффузивных и других породах. Сингенетическое вкрапленное оруденение локализуется в придонных частях почти на всей площади интрузивов, образуя более обогащенные участки в углублениях дна. Шлиры сплошных сульфидов, окруженные вкрапленными рудами, располагаются обычно в углублениях и впадинах дна интрузива. К придонной части интрузивов приурочены также жильные руды, которые прослеживаются и в подстилающих породах. Минеральный состав вкрапленных руд представлен пирротином, халькопиритом, титаномагнетитом, кубанитом и др. Инъекционные вкрапленные руды, так же как и жильные, дополнительно содержат миллерит и пирит.

Сингенетические вкрапленные руды образуют залежь протяженностью до нескольких километров и мощностью до 20–30 м, а в местах погружения интрузии до 60–100 м. Ряд участков залежи разрабатывается открытым способом.

Рудные жилы отличаются пологим падением и разнообразным минеральным составом. Среди них различают пирротиновые, халькопирит-пирротиновые, халькопирит-пентландитовые, халькопирит-миллеритовые и борнит-миллеритовые руды. Характерно почти полное отсутствие в них нерудных минералов. Мощность жил колеблется от 0,3–0,4 до 0,7–1 м. Все их разновидности по времени образования относятся к единому этапу и находятся в тесной связи со становлением интрузии габбро-диабазов. Предполагается несколько более позднее формирование халькопиритовых жил по сравнению с пирротиновыми. Последние считаются одновозрастными со шлирами.

В Норильском районе открыты и разведаны два месторождения медно-никелевых сульфидных руд – Талнахское и Октябрьское (рис. 86). Пространственно и генетически они связаны с Талнахской дифференцированной интрузией, сложенной весьма разнообразными оливиновыми и безоливиновыми габбро-диабазами, плагиоклазовыми перидотитами и троктолитами. В периферийных участках интрузии развиты контаминированные глубокоскарнированные породы со значительной пирротиновой минерализацией вблизи залежей богатых руд.

На *Талнахском* месторождении к приподошвенным и контактовым частям интрузива, вмещающим его породам и редко к кровле интрузива приурочены сплошные и сопровождающие их богатые вкрапленные руды, проявленные в форме пластообразных залежей, линз и жилообраз-

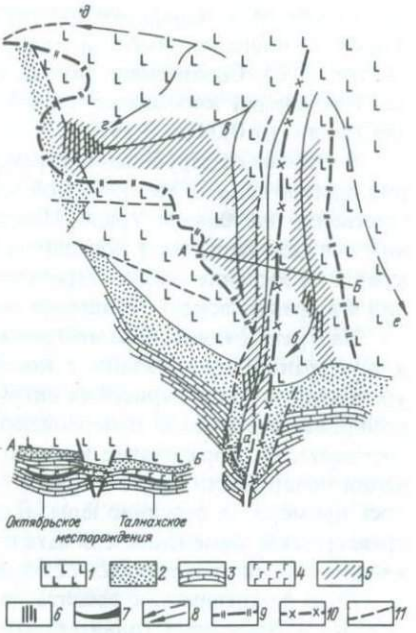


Рис. 86. Схема геологического строения Талнахского рудного поля:

1 – туфолавовая толща (P–T); *2* – породы тунгусской серии (P–C); *3* – мергели, аргиллиты, известняки, ангидриты и др. (D); *4* – никеленосная интрузия; *5*, *6* – площади развития богатых руд: *5* – существенно пирротиновых, *6* – существенно кубанитовых и халькопиритовых; *7* – рудный горизонт; *8* – ветви Талнахского интрузива известные (*а* – Юго-Западная, *б* – Северо-Восточная, *в* – Хараелахская) и предполагаемые (*г*, *д*, *е*); *9* – границы распространения никеленосного интрузива в плане; *10* – Норильско-Хараелахский разлом; *11* – сбросы

ных тел. Пластообразные залежи прослеживаются на несколько километров при мощности 50 м.

Более широко развиты вкрапленные руды, представленные оруденелыми пиритовыми, такситовыми, троктолитовыми габбро-диабазами и перидотитами. Они образуют придонные пласто- и линзообразные залежи большой протяженности и мощности; характеризуются более высокими отношениями меди к никелю (1,76 : 1), чем в богатых рудах (1,39 : 1). Еще более высоким отношением этих металлов отличаются прожилково-вкрапленные, преимущественно халькопиритовые руды (3,43 : 1), развитые в форме пластообразных залежей в породах тунгусской серии, подстилающих и реже перекрывающих никеленосный интрузив. Кроме никеля и меди руды Талнаха содержат кобальт, серу, железо и другие полезные компоненты. Отношение кобальта к никелю в богатых рудах составляет 1:31, во вкрапленных – 1:32 и в прожилково-вкрапленных – 1:27.

Октябрьское месторождение приурочено к Хараелахской ветви Талнахской интрузии, вмещающими породами которой являются мергели, аргиллиты и другие осадочные образования девона. В отличие от Талнахского месторождения, здесь более широко представлены сплошные богатые руды, слагающие огромную придонную залежь мощностью до нескольких десятков метров. Также развиты вкрапленные руды в интрузивных породах и существенно медистые прожилково-вкрапленные руды по периферии контура богатых руд во вмещающих осадочных породах. Глубина залегания рудных тел изменяется от 400–500 до 1300–1600 м. Они характеризуются зональной структурой, обусловленной сме-

ной от центра к периферии зон пирротина, кубанита, халькопирита, миллерита. Отношение никеля и меди в богатых рудах месторождения составляет 1:25. Содержание никеля в рудах Талнахского и Октябрьского месторождений колеблется от 0,4–0,6 до 3–4%, меди – от 1 до 7% и кобальта – от 0,03 до 0,15%.

В отличие от зарубежных стран, в СССР основные запасы силикатных руд приурочены к мезозойской коре выветривания, развитой преимущественно на Южном Урале. Известные в других районах месторождения – в Центральном и Восточном Казахстане, Прибалхашье, Алтайском крае и на Украине – характеризуются небольшими масштабами оруденения и в практическом отношении мало интересны.

На Урале силикатные месторождения никеля и кобальта генетически и пространственно связаны с корой выветривания серпентинитов, приуроченной к поясу варисских интрузий гипербазитов, прорывающих дислоцированные породы палеозойского основания. По мнению многих исследователей, образование коры выветривания началось после выравнивания поверхности Урала в триасе (а возможно, еще в перми) и завершилось примерно в середине юры. В последующее время в результате ряда трансгрессий, изменения климата и уровня грунтовых вод кора выветривания местами подвергалась размывам и преобразованиям.

Кора выветривания развита на всех породах палеозойского основания, но продуктивна только нонтронитовая кора серпентинитов, развитая в виде плаща на значительных участках водораздельных плато или в форме неправильных пятен, сохранившихся после размыва. Она представлена в нижней части выщелоченными серпентинитами, которые кверху сменяются нонтронитами и охрами. Мощность ее обычно изменяется от 10 до 50 м, причем мощность выщелоченных серпентинитов колеблется от 10 до 30 м, нонтронитов – от 0 до 40 м и охры – от 0 до 30 м. Основная часть никеля входит в состав нонтронитов, меньшая – в состав гидросиликатов и других минералов. В зоне охр никельсодержащим минералом часто является гидрогётит.

Древняя кора выветривания, как правило, перекрыта более молодыми отложениями третичного возраста, мощность которых колеблется от 1–2 до 10–15 м.

На Южном Урале выявлена кора выветривания серпентинитов, в которой слабо выражена зональность и процессы нонтронитизации играют подчиненную роль, в то время как процессы обохривания, выщелачивания и карбонатизации развиты широко. Здесь часто отсутствуют некоторые разновидности пород нормального нонтронитового профиля, хотя на отдельных участках проявляется такая последовательность в строении коры (снизу вверх): слабоизмененные серпентиниты, карбонатизированные и магнезитоносные серпентиниты, выщелоченные серпентиниты, нонтрониты и нонтронитизированные серпентиниты, охры.

Наибольшее обогащение никелем и кобальтом наблюдается вблизи даек габбро и диоритов, прорывающих серпентиниты. Эти породы окружены оторочками разложившихся тальково-хлоритовых пород, которые отличаются повышенным содержанием никеля и сопровождаются интен-

сивным развитием охр, иногда распространяющихся на довольно большую глубину.

Выделяются два типа промышленных руд: железистый и магнезиальный. Железистые руды, характеризующиеся повышенным содержанием кобальта, заключенного в асболанах, приурочены к зоне охр и тяготеют к верхней части залежи; магнезиальные руды, отличающиеся повышенным содержанием никеля при более низком содержании кобальта, приурочены к зоне нонтронитов, нонтронитизированных и выщелоченных серпентинитов и располагаются в основном в нижней части залежи.

В Ю А Р промышленные месторождения мезозойского возраста расположены в Восточном Гриквеланде и генетически связаны с основными интрузивными породами, залегающими среди осадочных свит системы карру. Месторождения представлены сульфидными медно-никелевыми рудами. Наиболее крупное месторождение – *Инсизва,* вкрапленные и массивные руды которого приурочены к донной, богатой оливином части крупного силла долеритов.

Донная залежь отделена от вмещающих пород так называемой „закаленной зоной" (гиперстеновыми габбро) мощностью 6–7 м. Оруденение представлено мелкой рассеянной вкрапленностью сульфидов, среди которых преобладает пирротин, или жилами и „пластами" сплошных сульфидов, часто без пирротина. Руды отличаются разнообразным минеральным составом. К главным рудообразующим минералам, кроме пирротина, относятся пентландит, халькопирит и кубанит. Помимо меди и никеля, руды содержат в заметных количествах кобальт, золото, серебро и платиноиды.

СВИНЕЦ, ЦИНК, СЕРЕБРО

Среди промышленных месторождений этих металлов мезозойского возраста в Европе большой интерес представляют метасоматические телетермальные свинцово-цинковые месторождения П о л ь ш и. Они приурочены к известнякам и доломитам среднего и нижнего триаса (рис. 87), образующим ряд синклинальных структур. По масштабу минерализации особенно выделяется Бейтенская синклиналь. В основании этой структуры залегают угленосные отложения, включающие угольные пласты суммарной мощностью 25–30 м. Они перекрыты пестроцветными песчаниками, выше которых располагается свита карбонатных пород, представленная рудоносными известняками-ракушечниками и доломитами. Более 90% руд приурочено к доломитам, в то время как в известняках залегает лишь 6%, а в песчаниках менее 0,1% запасов. Оруденение локализуется в зонах отслаивания.

Форма рудных тел пластообразная и гнездово-пластообразная с неправильными контурами. Представлены они массивными и вкрапленными разностями, с характерными брекчиевыми, массивными, полосчатыми и вкрапленными текстурами. В рудах преобладают сфалерит, галенит, пирит и марказит. В верхних частях рудоносных пачек встреча-

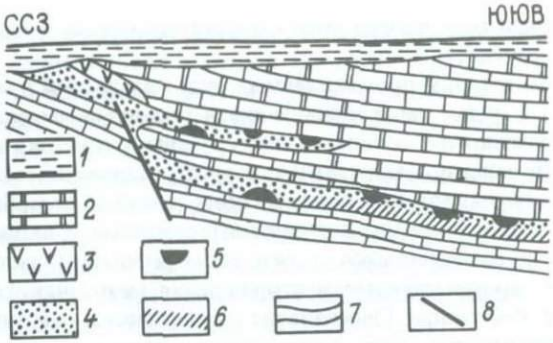


Рис. 87. Разрез цинково-свинцового месторождения Блейшарлей (Польша): *1* – делювий; *2* – известняки и доломиты кровли; *3* – бурые железняки; *4* – цинковая галмейная руда; *5* – гнезда свинцовой руды (галенит); *6* – цинковая руда (сфалерит); *7* – подстилающие известняки; *8* – сброс

ются галмейные руды, содержащие каламин, смитсонит, церуссит и лимонит.

Основной рудный район – Бытомская впадина, включающая несколько рудных зон. Руды в пределах Восточной рудодобывающей зоны содержат от 1 до 2% свинца и от 7 до 12% цинка. Кроме свинца и цинка руды Западной зоны содержат около 0,4% кадмия и 10–20 г/т серебра.

Добыча за период 1960–1977 гг. возросла по свинцу с 23 тыс. до 85 тыс. т и по цинку с 144 тыс. до 228 тыс. т в год.

Вопрос о генезисе этих месторождений продолжает оставаться дискуссионным. Одни исследователи считают их осадочными, другие – гидротермальными. В пользу эпигенетической трактовки свидетельствуют данные определения абсолютного возраста свинца (130 млн. лет), исключительная приуроченность оборудования к горизонтам доломитизированных карбонатных пород, отсутствие рудной минерализации в нормально-осадочных доломитах, контроль оруденения дизъюнктивными нарушениями и наличие жильных свинцово-цинковых руд, переходящих из толщи триаса в слои юры.

В Испании к мезозойской эпохе рудообразования относится самое крупное в стране месторождение цинка *Реосин*, которое дает 90% всей добычи цинка в стране. Месторождение приурочено к доломитам аптского возраста. Запасы его в 1945 г. оценивались в 675 тыс. т цинка и 110 тыс. т свинца при содержании в руде свинца 2,5% и цинка 15%. С триасовыми известняками и доломитами связаны свинцово-цинковые руды месторождения *Райбл*, в которых содержание цинка достигает 14%, а свинца 2,5%. Запасы цинка оцениваются примерно в 200 тыс. т.

В СССР мезозойские месторождения полиметаллических руд развиты преимущественно в Забайкалье и Приморском крае.

В локализации и размещении полиметаллических месторождений

Забайкалья основную роль играли региональные дизъюнктивные нарушения, которые отчетливо проявляются во всех рудных узлах. К этим тектоническим нарушениям, обычно выраженным крупными разломами и сопряженными с ними более мелкими трещинами, приурочены зоны милонитизированных рассланцованных гидротермально измененных пород, а также проявления интрузивного и эффузивного магматизма и почти все известные рудные образования. Значение складчатых структур в локализации месторождений остается пока невыясненным.

Обращает на себя внимание частая приуроченность полиметаллического оруденения к контактам карбонатных пород с глинистыми; напротив, обширные поля карбонатных пород, не заключающие прослоев глинистых пород, обычно не несут и полиметаллического оруденения.

В рядах рудных узлов отчетливо проявлена пространственная связь полиметаллического оруденения с комплексом малых гипабиссальных интрузий, представленных дайками и штоками преимущественно кислого состава. Серии этих малых интрузий приурочены к тектоническим зонам нарушения, и структурные взаимоотношения их с рудными телами, а также местами наблюдаемая в дайках вкрапленность рудных минералов позволяют считать, что внедрение малых интрузий предшествовало основному этапу полиметаллического оруденения.

Рудные тела полиметаллических месторождений чаще всего залегают среди палеозойских карбонатных пород, но значительное количество их приурочено также к терригенным отложениям и эффузивным образованиям мезозойского возраста. Изредка полиметаллическая минерализация встречается и в гранитоидных породах.

Независимо от характера вмещающих пород минеральный состав полиметаллических руд довольно однообразен. В большинстве разведанных полиметаллических месторождений главными рудообразующими минералами являются кварц, анкерит, доломит, кальцит, турмалин, серицит, халцедон, каолинит, пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, буланжерит, тетраэдрит, халькопирит и аргентит. По количественному соотношению этих минералов различают более 10 основных разновидностей руд, нередко связанных между собой постепенными переходами. Кроме свинца и цинка, руды часто содержат серебро, золото, мышьяк, сурьму, олово, медь и ряд рассеянных элементов.

В тесной зависимости от литологического состава вмещающих пород и характера тектонических нарушений находится морфология рудных образований. Среди забайкальских полиметаллических месторождений различают следующие основные структурные типы рудных тел и месторождений: 1) трубы в известняках и доломитах на пересечении либо в сочленении сколовых трещин; 2) линзообразные тела в зонах смятин среди углисто-известковисто-глинистых сланцев, сопровождаемые штокверками в апикальных частях небольших интрузивов гранитоидов; 3) рудные штоки в известняках в зонах древних карстов; 4) штокверковые зоны в пластах известняков среди сланцев; 5) линзы и пластовые метасоматические тела в известняках и сланцах, пересеченных разломами с тектоническими брекчиями.

Верхние возрастные границы месторождений определяются достаточно отчетливо, поскольку рудные залежи их приурочены к верхнеюрским эффузивным породам, а в континентальных отложениях нижнего мела обнаружена галька полиметаллической руды. Что касается нижней возрастной границы, то этот вопрос пока остается открытым.

На Дальнем Востоке к мезозойскому возрасту относятся месторождения Тетюхинской группы в Приморском крае, принадлежащие к типу инфильтрационных скарнов. Рудоносные известняки залегают на кремнистых брекчиях и песчаниках базального горизонта и вместе с ними надвинуты по поверхности крупного надвига на меловую толщу, сложенную песчаниками и сланцами. Известняки перекрыты кварцевыми порфирами и вместе с ними прорваны дайками диоритовых и диабазовых порфиров, которые секутся главным надвигом. Образование даек предшествовало рудоотложению. Рудные залежи имеют неправильные, часто трубчатые формы. Основные минералы, слагающие рудную массу, – марганцовистый геденбергит, кварц, кальцит, сфалерит и галенит; довольно часто встречаются аксинит, гранат, пирит, пирротин, халькопирит и арсенопирит; в небольших количествах присутствуют халцедон, барит, арагонит, серицит и др. В окисленных рудах преобладают церуссит, смитсонит, малахит и куприт.

В Закавказье полиметаллическое оруденение мезозойского возраста установлено в Белокано-Закатальском и Шекинском рудных районах, характеризующихся сходными геологическими условиями. Промышленное свинцово-цинковое оруденение сконцентрировано в основном в Филизчай-Кацдагском районе и относится к перспективному колчеданно-полиметаллическому типу, локализующемуся в юрских терригенных толщах.

Пластообразная залежь колчеданных руд *Филизчайского* месторождения располагается согласно с подстилающими песчаниками при тектоническом несогласии с перекрывающими породами. В рудах преобладает пирит, слагающий до 90% их объема; несколько менее распространен пирротин. Кроме них, к главным минералам относятся сфалерит, галенит, халькопирит, кварц и кальцит. В качестве несущественной примеси присутствуют арсенопирит, кобальтин, магнетит, марказит, сидерит, хлорит и серицит. Основной промышленный интерес представляют колчеданно-полиметаллические руды и меньшее значение имеют пирит-пирротиновые и пирротиновые руды.

В ЮАР к мезозою относится группа жильных месторождений района Мессина в Трансваале. Они приурочены к гранулитовым метаморфическим породам мобильного пояса лимпопо и генетически связаны с вулканической деятельностью карру (210–170 млн. лет). На их базе действуют три рудника и медеплавильный завод годовой мощностью 15 тыс. т черновой меди.

К мезозойской эпохе рудообразования относится подавляющая часть выявленных мировых ресурсов олова и вольфрама, сосредоточенная в так называемой Малаккской оловоносной провинции Юго-Восточной Азии; эта провинция протягивается с территории КНР через Бирму и Таиланд в Малайзию и Индонезию. Перечисленные страны занимают ведущее место в мире по запасам и добыче олова.

Богатая оловом часть Малаккской провинции находится на территории Малайзии (рис. 88), где основные оловорудные районы приурочены к западным склонам складчато-глыбовых хребтов в северной части страны. Другая полоса оловянных месторождений располагается по восточному побережью полуострова и включает одно из наиболее крупных в Малайзии коренных месторождений – *Сангей Лембанг*. Все многочисленные коренные месторождения олова генетически связаны с разновозрастными мезозойскими лейкократовыми порфировидными биотит-мусковитовыми гранитами (в Индонезии – 213 ± 5 млн. лет) и относятся в основном к касситерито-кварцевой формации. Характерная особенность этих гранитов – своеобразный состав их акцессорных минералов: помимо минералов, обычных для гранитов оловорудных провинций (циркона, апатита, топаза и флюорита), в них развиты сфен, ильменит, магнетит, а также сульфиды – пирротин и пирит. Кроме того, они содержат кордиерит и силлиманит, образование которых обусловлено процессами контаминации.

Рис. 88. Схема размещения месторождений олова в Малайзии
(по Дж. Скривенору)

Месторождения, расположенные в гранитах, представлены кварцевыми жилами, штокверками и грейзенами, в которых основным рудным минералом является касситерит, часто присутствует вольфрамит и наряду с кварцем широко развит турмалин. Иногда встречаются топаз, мусковит и берилл. Кварцевые жилы большей частью отличаются небольшими размерами. Длина их по простиранию и по падению не превышает нескольких сотен метров при мощности 0,5–1,5 м. В известняках оруденение проявлено в форме скарновых сульфидно-касситеритовых залежей, часто в виде неправильных трубчатых тел. С касситеритом ассоциирует

арсенопирит, реже пирротин, халькопирит, борнит, галенит, сфалерит. Постоянно присутствует тремолит и встречается борат магния.

Региональное распространение коренных оловорудных месторождений касситерито-кварцевой формации, благоприятные геоморфологические условия, сохранившиеся с мелового периода, интенсивное выветривание коренных месторождений и накопление рыхлого материала, происходившее в обстановке тропического климата, привели к образованию богатейших элювиальных, делювиальных и аллювиальных россыпей.

Элювиальные россыпи, часто обогащенные в результате удаления растворимых составных частей рыхлых отложений при их выветривании, отличаются высоким содержанием касситерита, но сравнительно скромными масштабами. На глубине эти россыпи нередко связаны постепенными переходами с верхними частями коренных руд, превращенными в рыхлую массу.

Более крупные масштабы свойственны широко распространенным аллювиальным россыпям, среди которых встречаются как древние, так и молодые россыпи современной речной сети. Считают, что накопление главной массы оловоносного аллювия относится к среднему плейстоцену. Особенно широко аллювиальные россыпи распространены в долине р. Перак (Кинта), где они тянутся почти непрерывной полосой вдоль западного подножия Главного хребта на протяжении 100 км, а также к югу от долины р. Перак, где оловоносные россыпи распространены на площади 145 х 80 км. Промышленные россыпи известны и в других районах страны.

Основные месторождения, обеспечивающие более 95% всей добычи олова, сосредоточены в княжествах Перак, Селангор, Паханг и Негри-Сембилан. Разрабатываются преимущественно россыпи, мощность которых достигает 60 м. Высокая степень механизации эксплуатационных работ (50% добычи осуществляется дражным методом и 40% – с помощью землесосных установок) позволяет рентабельно отрабатывать россыпи со сравнительно невысоким содержанием олова; в последние годы среднее содержание касситерита в отрабатываемых россыпях не превышает 200 г/т. В качестве побочного продукта из оловоносных россыпей извлекается колумбит. На многих месторождениях вместе с оловом добывается вольфрам.

В Малайзии разрабатывают также коренные месторождения, но удельный вес их в общей добыче олова незначителен. В рудах этих месторождений содержание олова колеблется в пределах 1–3%; вкрапленные штокверковые руды содержат 0,2–0,6% олова.

Общие запасы олова в Малайзии оцениваются в 1200 тыс. т, из них доказанные – 600 тыс. т. Страна издавна занимает первое место в мире по добыче олова, давая более 35% добычи этого металла в капиталистических и развивающихся странах. За все время эксплуатации на месторождениях Малайзии получено более 3 млн. т олова. В 1980 г. добыто 61,4 тыс. т олова в концентрате. Попутно с оловом получено всего 60 т WO_3 в концентрате.

Кроме вольфрамитсодержащих оловянных руд в Малайзии известны также собственно вольфрамовые месторождения, приуроченные к контакту мезозойских биотитовых гранитов с известняками и представленные скарновыми рудами. Рудные тела неправильной штокообразной или жилообразной формы залегают в наиболее трещиноватых участках. Основным рудным минералом является шеелит, обычно ассоциирующий с флюоритом, при небольшой примеси кварца. Месторождения не разрабатываются. Достоверные и вероятные запасы вольфрама оцениваются в 18 тыс. т (в пересчете на WO_3).

Значительными ресурсами олова обладает Индонезия, где на островах Банка, Биллитон и Синкеп расположены и коренные месторождения, и особенно аллювиальные россыпи. Наиболее крупные запасы сосредоточены на о. Банка, месторождения которого дали около 50% всей индонезийской добычи олова. В настоящее время разрабатываются преимущественно россыпи. Из коренных месторождений, в прошлом занимавших значительный удельный вес в добыче, наибольшее значение имели месторождения касситерит-сульфидных руд, особенно те из них, которые представлены межпластовыми выдержанными залежами среди песчаников и сланцев. Они отличаются своеобразным минеральным составом: в них широко развиты гранат, амфибол и фаялит, а из рудных минералов, кроме касситерита, обилен магнетит и постоянно присутствуют пирротин, арсенопирит, сфалерит и халькопирит. В разрабатывавшихся месторождениях руды характеризовались высоким содержанием олова – до нескольких процентов. Аналогичные по составу руды встречаются также в форме коротких секущих жил, иногда довольно мощных (до 10 м).

Более многочислены, как и в Малайзии, жилы касситерит-кварцевой формации. Многие из них отличаются высоким содержанием касситерита и постоянно ассоциирующего с ним вольфрамита, но в связи с небольшими размерами и невозможностью отработки открытым способом практического интереса они в настоящее время не представляют.

Наиболее рентабельны для эксплуатации широко развитые богатейшие оловянные россыпи, образовавшиеся в результате разрушения коренных месторождений касситерит-кварцевой формации. В разрабатываемых россыпях среднее содержание касситерита колеблется от 250 до 800 г/м^3, а иногда и более. Такое высокое содержание олова позволяет рентабельно разрабатывать россыпи даже при незначительной мощности рудного слоя (15 см). К тому же многие россыпи содержат промышленные концентрации монацита, который извлекается попутно с касситеритом.

Общие запасы олова в Индонезии оцениваются в 1,35 млн. т, в том числе доказанные – в 740 тыс. т. В 1980 г. здесь было произведено 32,5 тыс. т олова в концентрате. Мощность плавильного завода в Ментоне составляет 33 тыс. т в год.

Крупные ресурсы олова сосредоточены в многочисленных коренных и россыпных месторождениях Таиланда – составляющей части Малаккской вольфрам-оловянной провинции. В районе о. Пукет известны

также подводные морские россыпи, которые отличаются особенно высоким содержанием олова. В стране разрабатываются преимущественно россыпные месторождения. Многие из них наряду с касситеритом содержат в промышленных концентрациях вольфрамит, монацит и ильменит. Среднее содержание касситерита в россыпях колеблется от 200 до 400 г/м^3. Общие запасы олова в Таиланде оцениваются в 1200 тыс. т, из них доказанные – 200 тыс. т. Уровень годовой добычи в последнее время находится в пределах 30 тыс. т олова в концентрате.

Собственно вольфрамовые месторождения развиты в Северо-Западном Таиланде, в районах Месариенга и Пилок, где они генетически связаны с мусковитовыми кислыми гранитами мелового возраста. Запасы WO_3 оцениваются в 23 тыс. т, в 1980 г. получено 2,4 тыс. т WO_3 в концентрате. Только небольшая часть добычи приходится на собственно вольфрамовые месторождения.

Все большее практическое значение приобретают подводные морские россыпи, особенно широко распространенные у берегов Малайзии, Таиланда и Индонезии. Поисковые и разведочные работы в этих районах проводятся весьма интенсивно, и с каждым годом возрастают выявленные запасы олова в подводных россыпях, обеспечивающих бóльшую часть добычи металла в этих странах. Результаты работ позволяют уверенно считать, что большинство россыпей представлено аллювиальным материалом, приуроченным к древним речным долинам, затопленным морем. Поэтому и поисково-разведочные работы направлены на изучение захороненного рельефа фундамента, выявление погребенных речных долин и в их пределах – оконтуривание продуктивных аллювиальных отложений. Работы проводятся по профилям, расположенным вкрест простирания предполагаемых речных долин с расстояниями между поисковыми профилями 1–2 км и разведочными – 100–250 м. Содержание олова в разведанных подводных россыпях Таиланда и Индонезии находится в пределах 0,2–0,4 кг/м^3, но встречаются участки с содержанием в несколько килограммов на 1 м^3.

Сотни сравнительно небольших месторождений вольфрама и олова известны в юго-восточной части Бирмы на границе с Таиландом. Полоса их распространения протягивается почти на 1000 км и, кроме коренных месторождений, включает многочисленные россыпи, которые и являются основным предметом разработки. Коренные месторождения почти целиком представлены кварц-касситерит-вольфрамитовыми жилами или штокверковыми зонами, обычно приуроченными к контакту гранитных массивов. Месторождения отличаются небольшими размерами, и хотя они включают десятки рудных жил, суммарные запасы олова и вольфрама в месторождениях, за редким исключением, не превышают 10 тыс. т. Руды отличаются сложным минеральным составом: наряду с касситеритом и вольфрамитом в них присутствуют шеелит, разнообразные сульфиды, самородный висмут, берилл, магнетит и другие минералы. Одним из наиболее крупных месторождений является *Маучи*. Руды его содержат 1,54% олова и 0,75% вольфрама.

Общие запасы олова в Бирме оцениваются в 500 тыс. т, в том числе

доказанные – в 50 тыс. т. Общие запасы WO_3 составляют 40 тыс. т, из которых доказанных 20 тыс. т. В 1980 г. добыто 800 т олова и 950 т WO_3 в концентрате.

Крупными ресурсами олова и вольфрама обладает К Н Р. Бóльшая часть их сосредоточена в коренных месторождениях мезозойского возраста и связанных с ними россыпях, образование которых продолжается и в настоящее время. Месторождения распространены на огромной территории и разрабатываются в ряде провинций.

Основное оловянное и вольфрамовое оруденение КНР генетически связано с интрузиями верхнемезозойских (яньшанских) гранитоидов. Этим проявлениям магматизма обязаны своим образованием также месторождения сурьмы, ртути, свинца, цинка, серебра, меди, железа, золота, висмута, молибдена, сосредоточенные в так называемой Тихоокеанской металлогенической провинции, в пределах которой отчетливо выделяются оловянно-вольфрамовый (внешний) и сурьмяно-ртутный (внутренний) пояса. Интрузии яньшанских гранитов прорывают и метаморфизуют угленосные свиты фуцзяна (лейас), а также риолиты, залегающие на отложениях нижнего мела. На размытой поверхности гранитов залегают нижнетретичные породы (эоцен), содержащие в базальных конгломератах гальку гранитов.

Наиболее широко распространены биотитовые разности гранитов часто грубопорфировидной структуры. Гранодиориты и граносиениты имеют подчиненное значение. Обычно граниты сопровождаются дайками гранит-порфиров и аплитов. Для ряда интрузивов характерно развитие пегматитовых даек, приуроченных к периферическим частям массивов.

Из разнообразных типов оловянного оруденения КНР наибольший практический интерес представляют касситерит-сульфидные руды. Они обычно залегают в известняках, непосредственно на контакте с гранитами или вблизи него, в форме пластообразных метасоматических залежей, неправильных жилообразных и трубообразных тел. Около крупных залежей массивных руд наблюдается вкрапленное оруденение.

Для некоторых месторождений характерна горизонтальная зональность минерализации: по направлению от контакта с интрузией в рудных телах выделяются арсенопиритовая, , халькопиритовая, галенитовая и пиритовая зоны. Пирит и касситерит присутствуют во всех зонах; наиболее обогащены оловом сфалеритовая и галенитовая зоны. Благоприятными для локализации оруденения считаются купола гранитных интрузий, еще не обнаженные на дневной поверхности, а также дайки сиенитов и граносиенитов, около которых залегают лучшие руды. Оруденение в гранитах сопровождается турмалинизацией и грейзенизацией. Скарновые руды обычно тесно ассоциируют с порфировидными гранитами. Они содержат бедную вкрапленность касситерита и состоят из граната (гроссуляр), диопсида, амфибола (тремолит), хлорита, эпидота, флюорита, местами магнетита, иногда волластонита, скаполита и кальцита. Вкрапленность касситерита сопровождается сульфидами. Кроме того, скарны содержат шеелит, обычно сопровождаемый флюоритом.

Из месторождений олова наиболее широко распространены в КНР

месторождения касситерит-кварцевой формации, представленные грейзенами и турмалин-кварцевыми рудами. Касситерит в них часто ассоциирует с вольфрамитом, и в зависимости от содержания этих минералов различаются многочисленные разновидности руд от собственно касситеритовых до чисто вольфрамитовых. Этот тип оруденения развивается главным образом в эндоконтактовых зонах, иногда в кровле интрузивов. В качестве характерной закономерности отмечается концентрация вольфрамита непосредственно в приконтактовых зонах интрузива и уменьшение его количества по мере удаления от контакта при одновременном увеличении содержания касситерита. Месторождения касситерит-кварцевой формации во многих районах послужили основным источником для образования промышленных россыпей олова и вольфрама.

Среди многочисленных собственно вольфрамовых месторождений доминирующее значение имеет жильный тип оруденения, хотя встречаются крупные месторождения штокверковых руд, а также грейзены. Главный рудообразующий минерал – кварц с небольшой примесью мусковита, литиевой слюды, ортоклаза, флюорита, реже альбита, серицита, хлорита и кальцита. Основной рудный минерал – вольфрамит, иногда гюбнерит и редко шеелит. Обычно руды содержат также касситерит, пирит, висмутин, арсенопирит, молибденит, станнин и берилл.

В зависимости от количественных соотношений перечисленных минералов различаются два основных типа руд: 1) кварцевые, в которых содержание кварца составляет 90–97% и, кроме вольфрамита, присутствует касситерит, и 2) кварц-сульфидные, содержащие 85–90% кварца и включающие, помимо вольфрамита, разнообразный комплекс сульфидных минералов. Реже встречается кварц-берилло-топазовый тип минерализации, где наряду с кварцем широко развиты берилл и топаз. Предполагается, что кварцевые жилы генетически связаны с наиболее кислыми биотитовыми гранитами, а кварц-сульфидные – с более основными дифференциатами гранитной магмы, в частности с гранодиоритами.

Большое практическое значение имеют месторождения касситерит-сульфидной формации, которые отличаются от месторождений касситерит-кварцевой формации более крупными масштабами минерализации.

Весьма значительный промышленный интерес представляют россыпные месторождения олова и вольфрама КНР. Особенно высоким содержанием олова и значительным площадным распространением обладают делювиальные и пролювиальные россыпи, связанные с разрушением коренных касситерит-сульфидных месторождений. Для этих россыпей характерно залегание на карстовом рельефе в замкнутых котловинах и на склонах гор, плохая сортировка материала и слабая окатанность зерен касситерита, наличие циркона, рутила, ильменита и минералов свинца, железа и марганца.

Элювиально-делювиально-пролювиальные россыпи, образовавшиеся вследствие разрушения оловоносных скарнов, вытянуты узкими полосами вдоль окраинных зон гранитных массивов; они отличаются сравнительно небольшими размерами, но высоким содержанием касситерита. Аллювиальные россыпи, возникшие в результате размыва зон оловонос-

ных гранитов, как правило, отличаются убогим содержанием касситерита, но занимают значительные площади. Большой интерес эти россыпи представляют в качестве источника вольфрама и висмута.

В КНДР и Южной Корее с гранитоидными интрузиями мелового возраста генетически связаны многочисленные месторождения кварц-вольфрамитового типа, расположенные в районах Пхеньяна, Сеула и Кесона. Рудоносные жилы залегают как в самих гранитах, так и в палеозойских метаморфизованных осадочных породах, преимущественно в кварцитах. Жилы прослеживаются в длину на 750 м при сравнительно небольшой мощности, в среднем редко превышающей 1 м. Вместе с вольфрамитом в них присутствуют молибденит и стибнит. В небольшом количестве руды содержат также олово и висмут.

Сравнительно широко, особенно в южной части полуострова, распространены месторождения скарнового типа, в которых главным рудным минералом является шеелит. По масштабам оруденения выделяется месторождение *Санг-Донг* (рис. 89), рудные тела которого представлены пластообразными залежами скарновых и роговиковых шеелитовых руд среди мергелей, песчаников, сланцев и роговиков на контакте с перекрывающими известняками. Протяженность главной залежи по простиранию составляет 1500 м при средней мощности 3–4,5 м. Она вскрыта наклонными шахтами на глубину 300 м или по падению – почти на 1000 м. Шеелит распространен в виде мелкой рассеянной вкрапленности в диопсидовых скарнах, но основное его количество привнесено позже и отложилось в кварцевых жилах мощностью до 10–12 см и прожилках с серицитовыми зальбандами.

В прошлом добываемые руды отличались высоким качеством. Среднее содержание в них WO_3 составляло 1,3–1,7% (на отдельных участках более 10%), висмута – 0,46% и молибдена – 0,12%. С 1941 г. произведено более 90 тыс. т. WO_3 в концентрате и при этом погашено ее в недрах порядка 135 тыс. т.

В последние годы разведаны две новые рудные залежи и снизились кондиции по содержанию WO_3 в руде. Разведанные запасы руды в связи с этим увеличились в два с половиной раза при среднем содержании WO_3 0,7%. Общие запасы WO_3 составляют 150 тыс. т, в том числе доказанные около 60 тыс. т.

Перерабатывается в сутки примерно 2000 т руды, содержащей в среднем 1,5–2% WO_3, при сквозном извлечении 70%.

В конце 1959 г. здесь построен завод по производству синтетического шеелита, где получают продукт, содержащий 70% WO_3 и менее 0,04% Mo. В начале 1973 г. введен в строй завод по производству паравольфрамата аммония, и до конца года на нем было выпущено 560 т этого продукта. В годовом производстве товарной продукции содержится 3300–4200 т WO_3 и более 100 т висмута.

Крупнейшие ресурсы вольфрама сосредоточены в мезозойских месторождениях Канады. К ним относится месторождение *Флэт-Ривер*, открытое в 1959 г. в Северо-Западных территориях Канады, близ границы с Юконом. Формирование месторождения генетически связано с ме-

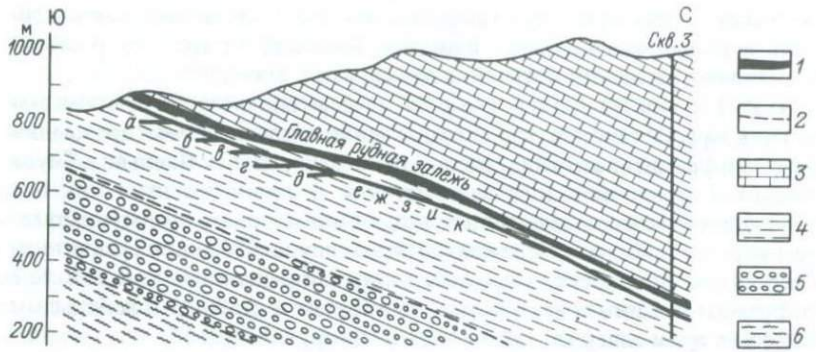


Рис. 89. Поперечный разрез рудной залежи месторождения Санг-Донг:

1 – рудное тело; *2* – предполагаемый контакт; *3* – серия Грейт-Лайм-Стоун; *4* – формация Майобанг; *5* – кварциты Чангсан; *6* – докембрийские сланцы. Горизонты: *а* – Сункианг, *б* – Чанг-сан, *в* –Бейкан, *г* – Тенбек, *д* – Сангдонг, *е* – первый, *ж* – второй, *з* – третий, *и* – четвертый, *к* – пятый

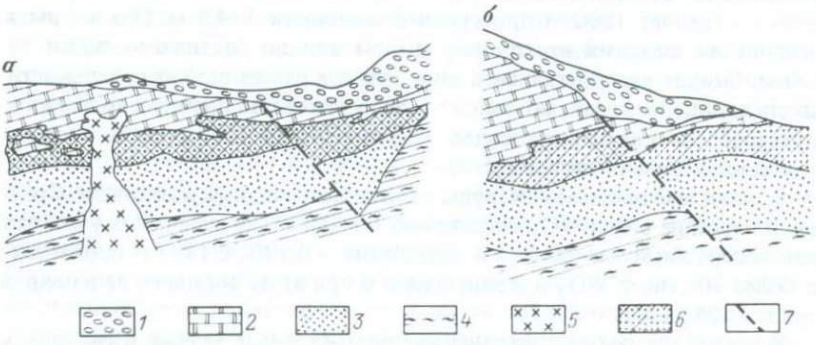


Рис. 90. Схематические продольный *(а)* и поперечный *(б)* разрезы месторождений Флэт-Ривер (по Уайту):

1 – наносы; *2* – мраморы; *3* – роговики; *4* – аргиллиты; *5* – гранодиориты; *6* – рудоносные скарны; *7* – разрывные нарушения

ловыми интрузиями кварц-монцонитового и гранодиоритового состава. Оно представлено рядом пластообразных и линзообразных залежей, приуроченных к приконтактовой зоне известняков с ороговикованными аргиллитами (рис. 90). Оруденение контролируется крутопадающим разломом. Главная пластообразная залежь прослежена по простиранию на 200 м и по падению на 900 м при средней мощности 20 м. Запасы руды определились в 1,3 млн. т при содержании WO_3 более 2%. Кроме того, в руде содержалось 0,07% Bi и 0,39% Cu. В 1963 г. предприятие дало первую продукцию. В 1971 г. запасы месторождения возросли в связи с открытием нового рудного тела. В настоящее время они оцениваются

в 4 млн. т руды, содержащей 1,6% WO_3. Производительность рудника и обогатительной фабрики возросла с 450 до 900 т руды в сутки.

С меловыми интрузиями кварц-монцонитового и гранодиоритового состава, прорывающими карбонатные породы позднепротерозойского – карбонового возраста, связаны вольфрамовые месторождения скарнового типа Британской Колумбии, среди которых по масштабам оруденения выделяется месторождение *Мак-Миллан-Тангстен* с запасами 30 млн. т руды, содержащей 0,9% WO_3 (270 тыс. т). Здесь же разрабатывается месторождение *Ред Рос*, представленное одной кварцевой жилой, которая залегает среди вулканических пород верхней юры – нижнего мела вблизи их контакта с гранодиоритами. Жила содержит шеелит, ферберит и в небольшом количестве различные сульфиды. Содержание WO_3 составляет около 1,5%.

Общие запасы WO_3 в месторождениях Канады оцениваются в 450 тыс., а доказанные – в 340 тыс. т. В 1980 г. производство WO_3 в концентрате достигло 4640 т.

Бóльшая часть запасов вольфрама США сосредоточена в шеелитовых месторождениях контактово-метасоматического скарнового типа. Они расположены главным образом между Скалистыми горами и Сьерра-Невадой, особенно в штатах Калифорния и Невада. Месторождения генетически связаны с послеюрскими гранодиоритовыми интрузиями, от которых рудные залежи, приуроченные к пластам известняков, удалены обычно на несколько сотен метров. Руды состоят главным образом из граната, эпидота, кальцита и пирита, в которых шеелит образует вкрапленность или отдельные богатые скопления различных размеров.

На наиболее крупном месторождении *Пайн-Крик* линзовидные и столбообразные тела продуктивных скарнов приурочены к окраине останца карбонатных пород длиной примерно 10 и шириной 2 км. Они оконтурены по содержанию 0,4% WO_3 и Mo; при этом среднее содержание WO_3 составляет 0,6–1%, а за пределами рудных тел в отдельных значительных участках скарнов содержание WO_3 составляет 0,24%, Mo – 0,2% и Cu – 1 %.

С послеюрскими гранитными интрузиями связывается также образование шеелитового месторождения пегматитового типа, расположенного в штате Невада. Рудные тела в форме пегматитовых даек и жил залегают среди известняков и содержат скопления шеелита нередко почти мономинерального состава. В дайке главными минералами являются олигоклаз, флюорит и берилл, линзы сложены в основном шеелитом, флогопитом и олигоклазом при постоянном присутствии ортоклаза, альбита, рутила, турмалина, пирита и пирротина. Практическое значение месторождения невелико.

Общие запасы WO_3 в США (без учета вольфрама, заключенного в рассолах оз. Сёрлс) оцениваются в 315 тыс. т, из них более 2/3 заключено в месторождениях мезозойского возраста. Примерно таков же удельный вес этих месторождений в производстве, которое в 1980 г. составило около 4 тыс. т WO_3 в концентрате, из них 1,7 тыс. т на месторожде-

нии Пайн-Крик и 1,0 тыс. т попутно извлечено из молибденовых руд Клаймакса.

Месторождения шеелитоносных скарнов, известные в ряде районов Мексики, сходны с месторождениями США, южным продолжением которых они являются. Руды наиболее крупного месторождения *Эль-Феномено* (*Роса-Кастилья*) содержат от 1 до 2% WO_3, а также промышленные концентрации меди и золота.

Мезозойскими, возможно, являются жильные кварц-вольфрамитовые месторождения, развитые в южных районах Бразилии и связанные с тектоно-магматической активизацией докембрийского щита. Наиболее крупным из них представляется месторождение *Иньянджари* с запасами 500 тыс. т руды, содержащей примерно 1% WO_3. Суточная добыча руды не превышает 100 т. Крупным рудным полем (около 30 км^2) характеризуется месторождение *Энкрузильхеда*, в пределах которого распространены сравнительно мелкие жилы с касситерит-вольфрамитовой минерализацией.

В СССР к мезозойскому возрасту относится большинство месторождений олова Восточной Сибири и Дальнего Востока. Во всех этих районах обычно развиты оловорудные месторождения двух формаций: касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной. Ряд месторождений характеризуется минеральным составом, переходным от касситерит-кварцевой к касситерит-сульфидной формации. Для многих месторождений касситерит-кварцевой формации весьма характерна тесная ассоциация касситерита и вольфрамита, и в зависимости от содержания этих металлов различают собственно вольфрамовые, вольфрам-оловянные и собственно оловянные месторождения. Друзовые и брекчиевые текстуры, которые характерны для руд этих месторождений, позволяют относить формирование последних к сравнительно небольшим глубинам. Об этом же свидетельствует иногда обильное содержание в рудных телах ксенолитов вмещающих пород.

Месторождения касситерит-кварцевой формации отличаются весьма разнообразной формой рудных залежей. Преобладают рудные тела жильного типа. Часто они сопровождаются штокверками и рудными грейзенами самых различных форм и размеров.

Оловоносные грейзены встречаются весьма часто, но самостоятельных месторождений почти не образуют. Обычно они ассоциируют с оловоносными кварцевыми жилами, представляя собой, по-видимому, различные фазы единого рудного процесса. Считают, что для образования грейзенов благоприятны куполовидные структуры, причем наиболее интенсивная грейзенизация происходит в апикальных частях гранитных интрузий близ их контакта с осадочными породами, препятствующими удалению летучих. В зависимости от минерального состава выделяется несколько разновидностей грейзенов, но рудные минералы большей частью приурочены к наиболее высокотемпературным топазовым и мусковит-топазовым разностям. Такая ассоциация минералов, характерная для оловоносных грейзенов, в самих рудоносных жилах встречается редко.

Несколько более распространен полевошпатово-кварцевый тип месторождений, который, по-видимому, является переходным к месторождениям пегматитовой формации, хотя характерные для пегматитов процессы альбитизации и грейзенизации здесь не отмечаются.

Наиболее распространенные месторождения этой формации относятся к собственно касситерит-кварцевому типу. С кварцем часто ассоциирует турмалин. Наблюдается несколько фаз минерализации. В кварц-турмалиновых жилах отмечается приуроченность крупнокристаллического касситерита к крупнокристаллическому кварцу ранней генерации, а мелкокристаллического – к тонкозернистому турмалину и кварцу второй генерации.

Руды месторождений касситерит-кварцевой формации отличаются весьма сложным и разнообразным комплексом элементов. Наряду с оловом и вольфрамом они нередко содержат свинец, цинк, висмут, мышьяк, молибден, фтор (флюорит), индий, скандий, рубидий. Особенно характерно для многих месторождений присутствие флюорита. Рудные образования обычно концентрируются в узких эндоконтактовых и экзоконтактовых зонах, окружающих небольшие интрузивные массивы, которые являются либо апикальными частями более крупных интрузивных тел, либо самостоятельными малыми интрузиями. Большинство месторождений касситерит-кварцевой формации отличается сравнительно высоким качеством руд, но небольшими размерами. Обычно запасы олова в отдельных месторождениях не превышают нескольких сотен или реже тысяч тонн.

Более интересны в практическом отношении месторождения касситерит-сульфидной и касситерит-кварц-сульфидной формаций. Локальная связь этих месторождений с близповерхностными малыми интрузиями и, возможно, эффузиями, а также их обычная приуроченность к зонам крупных тектонических нарушений и участкам интенсивного дробления обусловили своеобразную морфологию рудных образований, представленных вкрапленно-прожилковыми и прожилково-штокверковыми рудами. С такими зонами часто ассоциируют рудные жилы, приуроченные к выдержанным системам трещин скалывания.

Касситерит в форме мелкой вкрапленности присутствует вместе с сульфидами железа, мышьяка, цинка и других минералов. Типичные жильные минералы – железистый хлорит и турмалин. Руды нередко сложены сплошными сульфидами. Месторождения отличаются весьма сложным телескопированным оруденением. В месторождениях переходной касситерит-кварцево-сульфидной формации, в отличие от касситерит-сульфидных, наряду с хлоритом, турмалином и сульфидами в значительных количествах присутствуют кварц, топаз, флюорит и в промышленных концентрациях вольфрамит, шеелит, редко молибденит. Касситерит-кварцево-сульфидное оруденение часто сопровождается грейзенизацией вмещающих пород.

Во всех оловоносных районах оруденение в большей или меньшей степени контролируется тектоническими нарушениями. Надо отметить, что крупные тектонические нарушения регионального характера служи-

ли каналами не только для рудных растворов; к этим же нарушениям приурочены дорудные излияния эффузивов, а также малые интрузии гипабиссального типа, которые либо предшествовали эндогенной минерализации, либо проявились одновременно.

Иногда с месторождениями касситерит-сульфидной формации пространственно ассоциируют месторождения полиметаллических руд, которые, судя по их взаимоотношению с касситерит-сульфидным оруденением, являются лишь одной из стадий единого рудного процесса. Для всех генетических типов оловорудных месторождений, в особенности для месторождений касситерит-сульфидной и касситерит-кварц-сульфидной формаций, весьма характерна многостадийность рудного процесса.

Между различными типами месторождений одной и той же формации или даже разных формаций не существует резкой грани в характере проявления рудной минерализации. Наоборот, между ними намечается ряд постепенных переходов, обусловленных изменением количественных соотношений различных минеральных комплексов.

В ряде районов совместного развития месторождений касситерит-кварцевых и касситерит-сульфидных руд отмечаются определенные признаки генетического единства этих двух резко различных рудных формаций. Они выражаются в наличии ряда общих („сквозных") минералов, таких, как касситерит, вольфрам, арсенопирит и иногда флюорит. Для некоторых минералов (мусковит, вольфрамит, турмалин, хлорит, сфалерит), входящих в состав руд обеих формаций, характерна повышенная железистость.

Иногда рудные образования различных формаций встречаются в пределах одного и того же месторождения и обусловливаются лишь различными фазами минерализации единого рудного процесса.

Для вольфрамовых месторождений в большей степени, чем для оловянных, характерен грейзеновый тип минерализации, который почти всегда ассоциирует с жильным типом и по минеральному составу мало отличается от последнего. Хотя грейзены обычно отличаются низким содержанием полезных компонентов, в них заключены большие запасы руд, пригодных для открытой добычи, и некоторые месторождения этого типа, несомненно, представляют промышленный интерес.

С касситерит-кварцевыми и вольфрамит-кварцевыми месторождениями иногда пространственно связаны проявления олова и вольфрама пегматитового типа; они характеризуются низким и крайне не равномерным содержанием металлов и практического значения не имеют.

Сравнительно широко распространены месторождения шеелитоносных скарнов; среди них расположенное на Северном Кавказе *Тырны-Аузское* молибдено-вольфрамовое месторождение (рис. 91). Оно приурочено к сложной складчатой антиклинальной структуре, переходящей к югу в синклиналь. Ядро антиклинали сложено мраморами, ядро синклинали – породами песчано-сланцевой толщи. Осадочные отложения района прорваны разнообразными интрузивными образованиями, в частности лейкократовыми гранитоидами и порфировидными эльджуртинскими гранитами, которые, по мнению многих исследователей, представляют

Рис. 91. Схематический разрез Тырныаузского месторождения *(по А. А. Пэку в интерпретации В. И. Смирнова)*:

1 – мраморы; *2* – роговики; *3* – лейкократовые гранитоиды; *4* – липариты; *5* – рудоносные скарны

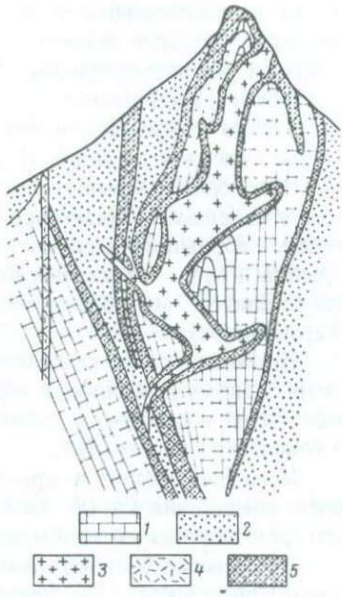
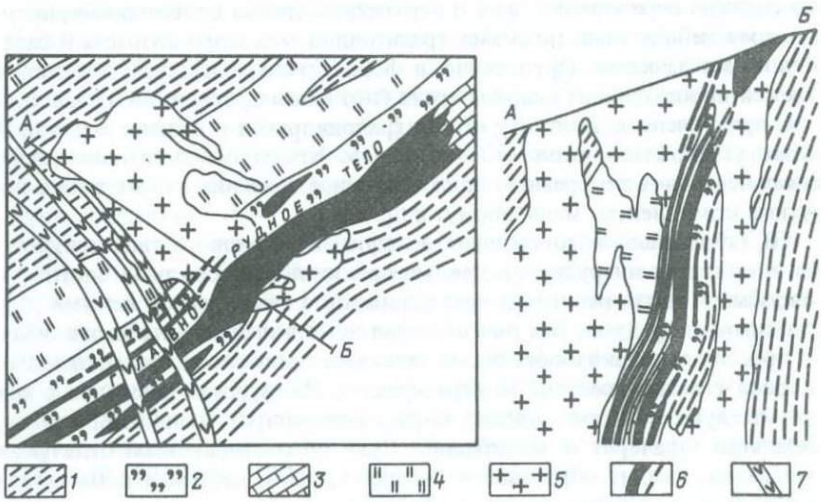


Рис. 92. Схема геологического строения месторождения Восток-2 *(по А. Н. Ивакину, Н. И. Лаврику и др.)*:

1 – песчаники; *2* – биотитовые роговики; *3* – известняки; *4* – кремни и кварциты; *5* – граниты и гранодиориты; *6* – рудные тела; *7* – дайки порфиров



собой производные единого магматического очага. Возраст этих интрузий, по данным З. В. Студениковой, составляет 100–110 млн. лет, что соответствует позднеюрскому – раннемеловому времени.

Рудные тела месторождения представлены главным образом скарновыми залежами с шеелитом и молибденом, а также молибденсодержащими роговиками и гранитоидами и шеелитоносными скарнированными мраморами. Наиболее интенсивное скарнирование приурочено к

замку антиклинальной складки, где оно связано с послойной трещиноватостью. Рудные скарны сложены в основном пироксеном, гранатом и кварцем, второстепенными породообразующими минералами являются плагиоклаз, волластонит, везувиан, кальцит и флюорит. Роговиковые руды состоят из кварца, биотита и полевых шпатов и в подчиненном количестве содержат серицит, андалузит, кордиерит, амфибол, хлорит, эпидот. Молибденоносные гранитоиды почти нацело сложены полевым шпатом и кварцем. Скарнированные мраморы состоят из кальцита и сравнительно небольшого количества (10–20%) других минералов: пироксена, граната, кварца, везувиана, волластонита. Рудные минералы представлены шеелитом, молибденитом, халькопиритом, пирротином, сфалеритом и арсенопиритом.

Промышленные концентрации вольфрама характерны только для скарновых руд. Молибден содержится во всех рудах. Около 55% всего молибдена заключено в молибдените и до 45% – в шеелите (около 30%) и повеллите (около 15%).

Молибден входит в кристаллическую решетку шеелита с образованием соединения Ca (W, Mo) O_4, т. е. зейригита и молибдошеелита, в котором шестивалентный молибден является первичным.

На Дальнем Востоке по масштабу оруденения выделяется разведанное в Приморском крае месторождение *Восток-2* (рис. 92). Рудное поле его сложено верхнепермскими и верхнетриасовыми отложениями, прорванными небольшими штоками гранитоидов мелового возраста и палеогеновыми дайками. Оруденение, в форме субпараллельных пластовых залежей пироксеновых скарнов среди биотитовых роговиков и известняков, приурочено к контакту штока гранодиоритов и плагиогранитов. В рудах установлено около 70 минералов. Кроме основного полезного компонента – вольфрама – промышленное значение имеют также попутные компоненты: медь, висмут и др.

В Забайкалье месторождения вольфрама скарнового типа приурочены к контакту интрузий предверхнеюрских порфировидных биотит-роговообманковых гранитов и гранодиоритов с нижнепалеозойскими карбонатными породами. Все они отличаются мелкими масштабами и обычно представлены линзообразными залежами силикатных и магнетитовых скарнов с весьма пестрой минерализацией. Из рудных минералов в них присутствуют магнетит, шеелит, пирит, халькопирит, халькозин, золото, кабальтин, сфалерит и молибденит. Судя по соотношениям отдельных минералов, шеелит образовался позднее граната, диопсида и магнетита и раньше халькопирита, пирита и сфалерита.

С комплексом широко распространенных батолитоподобных гранитных интрузивов, внедрение которых происходило в конце юры, генетически связаны месторождения олова касситерит-кварцевой формации в Якутии. Так же, как в Забайкалье, они ассоциируют с оловянно-вольфрамовыми месторождениями. К более позднему меловому периоду развития мезозойской складчатой области, т. е. к периоду все большей ее консолидации и превращения в эпимезозойскую платформу, относятся касситерит-хлорит-турмалиновые и касситерит-сульфидные месторожде-

ния. Некоторые из них, кроме олова, содержат в повышенных концентрациях мышьяк, медь, свинец, цинк, вольфрам, реже и в меньших количествах – кобальт, висмут, золото, серебро, молибден. Формирование этих месторождений происходило в условиях, когда господствующая роль принадлежала разрывным нарушениям и дифференциальным движениям крупных глыб.

Разновозрастны месторождения олова и на Дальнем Востоке. В Среднем Приамурье возраст оруденения отвечает раннему мелу и началу позднего мела. На Малом Хингане, в хр. Эзоп, в ряде районов Сихотэ-Алиня они связаны с верхнемеловыми гранитоидами. В Южном Приморье к верхнему мелу, по мнению многих исследователей, относится оруденение касситерит-кварцевого типа и в меньшей мере касситерит-сульфидного, бóльшая же часть месторождений касситерит-сульфидного типа связана с палеогеновой интрузивной деятельностью. Формирование этих месторождений также приурочено к периоду полуплатформенного развития этой территории, который пришел на смену периоду геосинклинального режима.

Основная рудная минерализация притихоокеанской части Сихотэ-Алиня связана с движениями, происходившими в конце мела (после сенона) и в палеогене. М. П. Материков и А. Б. Павловский считают, что в районе Сихотэ-Алиня все месторождения олова генетически связаны с интрузиями одного магматического цикла, представленного крупными массивами гранитов и гранодиоритов и комплексом небольших тел диоритов, габброидов, монцонитов, аляскитов, гранит-порфиров и фельзитов. Крупные интрузии сопровождаются многочисленными месторождениями касситерит-кварцевой формации и приурочены к региональным разломам. В зоне малых интрузий, расположенной на погружении складчатых структур, распространены типичные касситерит-сульфидные месторождения.

Два этапа оловянной минерализации устанавливаются в районах Северо-Востока СССР. Одни месторождения, относимые к высокотемпературной кварцевой формации, генетически связаны с калиевыми лейкократовыми интрузиями нижнего мела, другие, принадлежащие к касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формациям, – с кислыми гранитами натриевого ряда и гранодиоритами верхнего мела. Определения абсолютного возраста оловоносных изверженных пород и минералов оловоносных жил Северо-Востока дали следующие результаты: 110–100; 125–120; 137–130 и 140–130 млн. лет.

МОЛИБДЕН

Почти все мезозойские промышленные месторождения молибдена сконцентрированы в СССР, КНР и Канаде (Британская Колумбия).

В пределах С С С Р они распространены в Забайкалье. Формирование их происходило в условиях платформенных структур, главным образом в районах их сочленения с мезозойскими складчатыми структурами. Для молибденоносных районов характерно двухъярусное геологи-

ческое строение; нижний ярус сложен в основном домезозойскими гранитоидами, прорывающими древние метаморфические комплексы, а верхний – вулканогенными и осадочными образованиями преимущественно юрского возраста.

Все месторождения молибдена, за редким исключением, связаны с гранитоидными породами, и в их локализации исключительно отчетливо проявляется роль региональных разломов и сопровождающих их серий более мелких трещин, зон дробления и милонитизации. К этим тектонически ослабленным зонам приурочен комплекс своеобразных резко гипабиссальных малых интрузий, представленных штоками и дайками чрезвычайно пестрого кислого и среднего состава. Постоянная тесная пространственная связь указанного интрузивного комплекса с месторождениями молибденита и золота, приуроченность даек, штоков и рудных тел к единым системам дизъюнктивных нарушений, а также характер их взаимоотношения не оставляют сомнений в принадлежности всех этих образований к единому интрузивному циклу.

Весьма характерна многоэтапность образования малых интрузий, которая отмечается во всех районах их проявления. За исключением сравнительно редких случаев, в комплексе малых интрузий наблюдается закономерная смена разновидностей основного и среднего состава кислыми и щелочными. Вне зависимости от минерального состава малые интрузии обладают порфировой структурой и часто неотличимы от своих эффузивных аналогов.

В большинстве случаев весьма отчетливо устанавливается более позднее проявление молибденовой минерализации: рудные тела резко секут штоки и дайки порфировых пород. Известно несколько случаев, когда дайки прорывают кварц-молибденитовые жилы, и это дает основание предполагать, что в ряде мест рудный процесс происходил не только после окончательного формирования дайкового комплекса, но и на предшествующей стадии. Такие примеры наблюдаются редко и скорее всего они являются исключением из установленной здесь общей закономерности, которая заключается в том, что рудообразование отделено от интрузивных этапов небольшим промежутком времени.

Во многих районах отмечается пространственная ассоциация молибденовых и золоторудных месторождений. В ряде месторождений золото и молибден совместно присутствуют в промышленных концентрациях, но чаще всего они встречаются в обособленных месторождениях, по-видимому, весьма близких по времени формирования. В некоторых рудных полях взаимоотношение кварц-молибденовых жил с кварц-турмалиновыми позволяет относить молибденовую минерализацию к более раннему этапу, предшествовавшему образованию золотого оруденения.

Промышленные месторождения молибдена образовались в основном в мезотермальную фазу гидротермального процесса, и все они относятся к кварц-серицит-молибденитовой формации. Большинство месторождений отличается исключительно однообразным минеральным составом. Главный рудообразующий минерал – кварц, который часто слагает рудные тела совместно с турмалином, реже с карбонатами. Из рудных ми-

нералов, кроме молибденита, присутствуют пирит и халькопирит, редко встречаются галенит, сфалерит, висмутин, шеелит, арсенопирит, антимонит, блеклые руды, самородное золото, теллуриды золота, сложные сурьмяно-висмутовые минералы, буланжерит, борнит, магнетит и гематит. В ряде месторождений они образуют относительно высокие концентрации, и часть из них представляет практический интерес. Молибденит нередко содержит в качестве изоморфной примеси рений.

Во всех месторождениях отчетливо проявилось несколько последовательных стадий рудного процесса, выраженных в образовании определенных ассоциаций минералов и нескольких генераций кварца, турмалина, молибдена, пирита. Иногда отдельные стадии минерализации разделялись длительными промежутками времени, и поэтому в некоторых рудных телах брекчиевой текстуры обломки руд, образованные в ранние стадии, цементируются минеральными комплексами более поздних стадий. Смена различных стадий минерализации отчетливо отражается в поясовой текстуре рудных образований.

Поскольку локализация месторождений и отдельных рудных тел контролируется разрывными нарушениями и зонами сильно трещиноватых пород, среди рудных образований выделяются два основных морфологических типа: жильный и прожилково-вкрапленный, или штокверковый. Оба указанных морфологических типа руд наблюдаются совместно почти на всех месторождениях, и в ряде случаев основное промышленное значение приобретает штокверковое оруденение, распространенное на значительных площадях и прослеженное на глубину до 600 м.

Характерный пример – *Бугдаинское* месторождение, расположенное в северном обрамлении Восточно-Забайкальского мезозойского прогиба и приуроченное к экзоконтакту верхнеюрского интрузива, прорывающего юго-восточную часть крупного плутона варисских гранитоидов. Центральная часть месторождения сложена интенсивно окварцованными гранитами, местами превращенными во вторичные кварциты. Кварц-магнетитовые прожилки располагаются по внешнему ее контуру, образуя кольцеобразную полосу шириной до 100 м. Кварц-молибденитовые прожилки и жилы с промышленной молибденовой минерализацией локализуются в серицитизированных гранитах, окаймляющих окварцованные породы. Текстуры руд тонко- и крупнопрожилковые. Вкрапленные руды имеют подчиненное значение. Кроме дорудного окварцевания на месторождении широко проявлены хлоритизация, каолинизация, березитизация и карбонатизация.

Вопрос о возрасте молибденового оруденения в Забайкалье пока не может быть решен однозначно. Месторождения, как уже отмечалось выше, приурочены к районам развития домезозойских гранитоидных пород, и рудные образования не соприкасаются с фаунистически охарактеризованными осадочными отложениями. В ряде пунктов довольно отчетливо определяется верхняя возрастная граница оруденения, поскольку гальки кварца с молибденом встречаются в континентальных отложениях нижнего мела. Известны случаи, когда дайки порфировых пород, обычно ассоциирующие с кварц-молибденовыми жилами, прорывают

верхнеюрские эффузивы. На этом основании с некоторой долей условности можно считать, что формирование месторождений молибденита происходило в период от верхней юры до нижнего мела. Однако не все месторождения молибденита, несмотря на их сходство, являются одновозрастными.

С интрузиями гранитоидов, прорывающих герцинские граниты и перекрывающие их юрские отложения, генетически связаны месторождения молибденита в ряде районов Дальнего Востока. По данным многочисленных определений, возраст молибденоносных интрузий составляет от 78–80 млн. до 100–110 млн. лет. Недавно открытое в Южной Якутии в зоне сочленения юго-восточной части Алданского щита с областью Станового хребта месторождение *Бадис* приурочено к штоку раннемеловых гранодиорит-порфиров. Положение его контролируется пересечением субширотной системы нарушений Станового глубинного разлома разрывами северо-западного и северо-восточного направлений. Шток прорывает гранитизированные метаморфические породы архейского возраста.

Оруденение проявлено в форме кварц-молибденового штокверка, развитого в самом штоке и в его экзоконтакте. Гранодиорит-порфиры интенсивно окварцованы и местами превращены во вторичные кварциты.

Выделено несколько стадий минерализации: кварц-магнетитовая, кварц-молибденовая, кварц-пиритовая, полиметаллическая, карбонат-кварцевая. Метасоматические изменения проявлены в биотитизации, калишпатизации, аргиллизации, эпидотизации.

В последние двадцать лет много новых штокверковых месторождений молибдена выявлено в западных штатах США и на западе Канады. Большая их часть связана с кайнозойским рудогенезом, однако на отдельных месторождениях, судя по данным определения абсолютного возраста, молибденовая минерализация имеет мезозойский возраст. В их числе месторождения *Аданак* (абс. возраст 72 ± 0,62 млн. лет, запасы молибдена 93 тыс. т при среднем содержании его в руде 0,09%), *Гласье Галч* (68 ± 0,3 млн. лет, 153 тыс. т, 0,17%), *Эндако* (138 ± 0,3 млн. лет, 80 тыс. т, 0,12%), *Босс Маунтин* (102 ± 0,4 млн. лет, 5 тыс. т, 0,3%), *Томпсон Крик* (85 ± 0,9 млн. лет, 150 тыс. т, 0,15%) и др.

По разведанным запасам и объему добычи выделяется месторождение Эндако. Оно расположено в центральной части Британской Колумбии в северо-западной оконечности крупного гранитного батолита юрского возраста, прорывающего вулканогенную толщу триаса и перекрытого эоценовыми вулканическими породами. Оруденение приурочено к участку порфирового гранита, в различной степени измененного. В плане месторождение представляет собой ряд вытянутых минерализованных полос длиной около 1800 м, шириной до 180 м.

Породы интенсивно калишпатизированы и серицитизированы. Установлено три стадии молибденитовой минерализации: первая, наиболее ранняя представлена вкрапленностью молибденита в граните и реже в ранних кварц-молибденитовых жилах; вторая – тонкими кварц-молибденитовыми прожилками (до 1 см), в которых тонкозернистый молибденит расположен вдоль зальбандов; третья – крупночешуйчатым

молибденитом, ассоциирующим с прожилками крупнозернистого кальцита.

В западной части месторождения развиты зоны, сложенные кварц-молибденитовыми жилами и отходящими от них прожилками. В восточной части месторождения оруденение представлено штокверком тонких кварц-молибденовых жилок.

Месторождение с 1965 г. разрабатывается карьером, суточная мощность которого по руде составляет 2,5 тыс. т; годовое производство молибдена достигает 8,4 тыс. т. За все время эксплуатации произведено порядка 80 тыс. т молибдена в концентрате.

Рудник *Китсолт*, другое крупное месторождение Британской Колумбии, расположен в верхней части озера Алис-Арм и приурочен к массиву кварц-монцонитов. За время его разработки с 1967 по 1972 г. открытым способом добыто 9 млн. т руды и получено около 10 500 т молибдена при среднем содержании MoS_2 в руде 0,2%.

На месторождении выделено четыре фазы оруденения: аляскитовая, кварц-полевошпатовая, порфировая и кварц-молибденитовая. Чаще всего молибденит встречается в кварцевых жилах и в виде вкрапленности в аляскитах. Наиболее богатые руды приурочены к центральной части рудного тела. Оставшиеся запасы руды со средним содержанием MoS_2 0,192% оцениваются в 105 млн. т.

В Британской Колумбии разведаны многочисленные месторождения меднопорфировых руд мезозойского возраста, которые отличаются сравнительно высоким содержанием молибдена.

Доказанные запасы молибдена Канады составляют 550 тыс. т. В 1980 г. производство его (в концентрате) составило 11,9 тыс. т.

В мезозое, по-видимому, образовалось месторождение *Мальмберг* (Местерс-Виг) в Дании (о. Гренландия). Общие запасы составляют 120 млн. т руды, содержащей 0,15% молибдена (180 тыс. т), и забалансовые – 100 млн. т руды, содержащей 0,12% молибдена (120 тыс. т).

Наибольший практический интерес среди молибденовых месторождений К Н Р представляют месторождения штокверкового типа, выраженные кварц-молибденитовыми прожилковыми или прожилково-вкрапленными рудами. Они приурочены к окварцованным и серицитизированным гранитоидам яньшанского возраста, а также к измененным андезитам (кварц-полевошпат-биотитовым роговикам) синия, залегающим в кровле массивов. Рудные минералы представлены молибденитом и пиритом (последний преобладает). Молибденит располагается в зальбандах кварц-полевошпатовых прожилков, образуя обогащенные полосы. В состав жильных минералов входят кварц, полевой шпат, серицит и редко флюорит. Гранитоиды, вмещающие месторождения этого типа, иногда интенсивно окварцованы, серицитизированы, изредка превращены в кварц-мусковит-флюоритовые грейзены, несущие более позднее молибденовое оруденение.

На месторождениях развито пять стадий прожилково-вкрапленной минерализации: молибденит-кварцевая, молибденит-пирит-кварцевая,

молибденит-пирит-халькопирит-кварцевая, халькопирит-кварц-карбонатная и сфалерит-галенит-кварц-карбонатная.

Большое значение имеют скарновые месторождения, приуроченные к зоне контакта известняков и сланцев кембрия и гранитоидов предположительно яньшанского возраста. Гранат-пироксеновые рудные залежи, кроме молибденита, содержат в значительных количествах пирит и иногда золото.

Наиболее характерный представитель этого генетического типа – месторождение *Янцзи-Чжандзы*. Оно представлено 6–7 рудными телами – скарновыми полосами среди известняков кембрия вдоль контакта с прорывающими их гранитами. Протяженность рудных тел по простиранию – 100–600 м, мощность – от 1–2 до 25–30 м, содержание молибдена – 0,1–0,3%. Месторождение разведано до глубины 500–600 м.

РТУТЬ, СУРЬМА

К мезозойской эпохе рудообразования принадлежат крупнейшие в мире сурьмяные месторождения КНР, а также ассоциирующие с ними многочисленные месторождения ртути. К тому же возрасту предположительно относятся месторождения сурьмы и ртути ЮАР, небольшие месторождения сурьмы в Канаде и ряд проявлений ртутной и сурьмяной минерализации в Восточной Сибири.

В К Н Р сурьмяное и ртутное оруденение генетически связано с магматизмом и тектоническими движениями преимущественно яньшанской (предверхнемеловой) фазы складчатости. Основные месторождения сурьмы расположены в южных и юго-западных районах страны – провинциях Хунань, Гуйчжоу, Юньнань, Гуандун, Хубэй и в Гуанси-Джуинском автономном районе, где ряд параллельных рудных поясов протягивается на сотни километров. Большинство ртутных месторождений приурочено к протяженному поясу, расположенному на границе провинций Хунань и Гуйчжоу. Ртутная и сурьмяная минерализация находится вне видимой связи с яньшанскими гранитами и контролируется крупными разломами и зонами дробления.

Наибольшее значение имеют сурьмяные месторождения хр. Си-Гуан-Шань (провинция Хунань), где расположено крупнейшее в мире месторождение сурьмы (рис. 93). Хребет сложен верхнедевонскими песчаниками, кварцитами, сланцами и известняками, интенсивно смятыми в складки и разорванными сбросами. Рудные залежи, представленные жилами и штокверками, приурочены преимущественно к нижнему пласту кварцитов, который перекрывается малопроницаемыми сланцами и выводится на поверхность сбросами или обнажается в ядрах антиклиналей, вскрытых эрозией. Интенсивность оруденения находится в прямой зависимости от степени дробления и трещиноватости пород; наиболее богатая минерализация концентрируется в куполообразных структурах, где сильнее всего проявились дизъюнктивные нарушения. Месторождения относятся к гидротермальному типу и, кроме кварца и антимо-

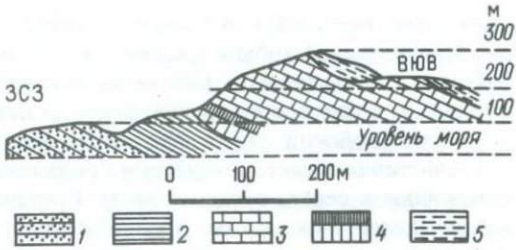


Рис.93. Разрез хр. Си-Гуан-Шань (Тегенгрен, КНР):
1 – кварциты с сурьмяной рудой; *2* – сланцы и сланцевые известняки; *3* – массивные известняки (силур – карбон); *4* – залежь железной руды; *5* – угленосная свита

нита, содержат в качестве незначительной примеси кальцит, пирит и киноварь.

В провинции Юньнань сурьмяные руды залегают среди триасовых отложений; в этих рудах антимонит ассоциирует с сульфидами серебра и свинца.

Руды большинства промышленных месторождений сурьмы в КНР отличаются высоким качеством; в прошлом содержание сурьмы в добываемых рудах составляло около 20%. Встречаются крупные скопления руды, состоящие почти из чистого антимонита. На ряде месторождений среднее содержание сурьмы в рудах составляет около 6%, но ручной сортировкой оно доводится до 50–55%.

Месторождения сурьмы эксплуатируются с древних времен, и КНР издавна занимает первое место в мире по добыче этого металла. Еще в 1935 г. общие запасы сурьмы китайских месторождений оценивались более чем в 4 млн. т, т. е. почти в три раза выше, чем суммарные запасы сурьмы в капиталистических и развивающихся странах.

Вероятно, не все месторождения сурьмы в КНР мезозойские. В опубликованной литературе имелись сообщения, что перед второй мировой войной на первое место по масштабам добычи выдвинулась провинция Хунань, где сурьмяные месторождения подчинены третичным красным глинам.

Ртутные месторождения КНР отличаются от сурьмяных более скромными размерами, но они также широко распространены и разрабатываются с доисторических времен во многих районах страны. Большей частью месторождения приурочены к карбонатным породам кембрия, реже – к отложениям ордовика, пермо-карбона и триаса. Руды их проявлены в форме жил, штокверков и пластовых залежей в брекчированных известняках и сланцах, а также выполняют пустоты или импреньяции в известняках. Кроме киновари, руды содержат самородную ртуть, антимонит, реже метациннабарит, реальгар, аурипигмент, пирит, галенит. Содержание ртути в рудах сравнительно невысокое, но путем ручной рудоразборки оно на ряде месторождений доводится до 2%.

В Таиланде мезозойскими считаются преимущественно небольшие месторождения сурьмы, представленные кварцево-антимонитовыми жилами и зонами брекчирования в известняках в ряде провинций страны. Наиболее крупным из них представляется месторождение *Фадат*, на базе которого был создан рудник и обогатительная фабрика произ-

водительностью 1300 т сурьмяного концентрата в год. После исчерпания руд для открытой добычи рудник был закрыт и вновь открыт в 1973 г. для подземной добычи. Общие запасы сурьмы Таиланда составляют 100 тыс. т, а годовое ее производство (в концентрате) – около 3 тыс. т.

К мезозойской эпохе рудообразования, по-видимому, относятся многочисленные месторождения и проявления ртути в К а н а д е, сосредоточенные в северо-западной части Британской Колумбии, особенно в районе *Пинчи Лэйк*. Можно предполагать, что ртутная минерализация генетически связана с крупными гранодиоритовыми батолитами Берегового хребта тихоокеанского побережья, внедрившимися в послеюрское или нижнемеловое время, хотя видимая связь месторождений с интрузиями, так же как и в большинстве ртутно-сурьмяных районов мира, отсутствует. Месторождения приурочены к крупному сбросу, прослеженному по простиранию на 200–250 км, который сопровождается брекчированной зоной шириной до 1,5 км.

Сбросовая зона проходит среди пермских метаморфизованных осадочных образований, представленных известняками, кварцитами, кварцево-слюдистыми и глаукофановыми сланцами. В пределах этой зоны ртутная минерализация в промышленных концентрациях проявляется лишь на отдельных участках и весьма неравномерно. Спорадические скопления киновари обычно заключены в брекчии кварцитов, состоящей из угловатых обломков кремнистых пород и основной массы тонкоистертого кварца и карбонатов, импрeньированной киноварью. В отдельных участках содержание ртути в руде превышало 1,1–1,4%. В 1945 г. разработка месторождений была прекращена.

Сходные проявления ртути известны также в другом районе Британской Колумбии – *Кетлупс Лейк*, где они приурочены к зоне дробления, прослеженной по простиранию на 30 км.

Общие запасы ртути в Канаде оцениваются в 3,5 тыс. т. В 1975 г. произведено 414 т ртути. Сведения о дальнейшей добыче отсутствуют.

Возможно, мезозойским следует считать месторождение жильных сурьмяных руд *Лейк-Джордж* в провинции Нью-Брансуик. За счет его разработки обеспечивается почти 90% всего производства сурьмы в концентрате, составляющего в Канаде около 3 тыс. т в год.

В С Ш А ряд сравнительно небольших месторождений ртутных и сурьмяных руд, приуроченных к триасовым и юрским породам, известен в районах Гумбольдт и Першинг (штат Невада). Считают, что эти месторождения, в отличие от всех других ртутных и сурьмяных месторождений, генетически связаны с гранитами позднеюрского времени.

Предположительно к мезозойской эпохе рудообразования относятся крупные ресурсы сурьмы, сосредоточенные в месторождениях Ю А Р, которая после второй мировой войны стала одним из главных поставщиков этого металла среди капиталистических и развивающихся стран. Основные месторождения ЮАР расположены в горном хребте Мерчисон, в северо-восточной части Трансвааля. Оруденение приурочено к контакту докембрийских хлоритовых сланцев и кварцитов с карбонатизированными сланцами и выражено чечевицеобразными кварцевыми жилами,

длина которых достигает нескольких сотен (до 400 метров) при мощности до 10–13 м. Кроме антимонита, киновари и самородного золота, руды содержат также в заметных количествах тетраэдрит (теннантит), пирит, коринит и самородную ртуть. Золото образует графические прорастания с минералом типа гвадалканарита. Широко развиты продукты окисления антимонита и различные карбонаты.

Месторождения первоначально разрабатывались на золото с попутным извлечением сурьмы, а в последние годы сурьма стала основным объектом добычи. Содержание ее в разрабатываемых рудах в среднем составляет 3%.

Относительно возраста месторождений существуют две точки зрения. Большинство исследователей склонны считать их мезозойскими и связывать с разломами, окаймляющими депрессии, в которых накапливались юрские отложения системы карру. Согласно другой трактовке, месторождения связаны с кембрийскими тектоническими движениями. Общие запасы сурьмы в ЮАР оцениваются в 360 тыс. т, в том числе 100 тыс. т в наиболее крупном месторождении Гравеллот. Добыча сурьмы в 1975 г. достигла 15 740 т и снизилась до 13 070 т в 1980 г. Разрабатываются 10 месторождений.

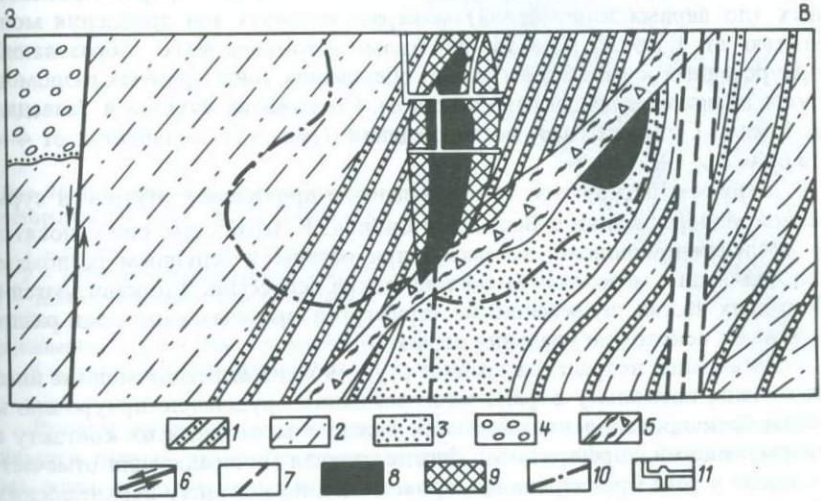


Рис. 94. Схематический разрез через рудное поле Западно-Палянского месторождения *(по В. Г. Кузьмину)* :

1–4 – песчано-алевролитовые отложения: *1* – нижней толщи (T_3nkw_1), *2* – верхней толщи (T_3nkw_2), *3* – пласт полимиктовых песчаников из нижней толщи (T_3nkw_3), *4* – туфоконгломераты (Cr_1ap –al); *5* – зона надвига; *6* – контактовый сброс; *7* – предполагаемый разрыв, секущий зону надвига; *8* – богатые руды штокверка и залежи в песчаниках; *9* – бедные руды штокверка и зоны надвига; *10* – первичный ореол рассеяния ртути с видимой минерализацией киновари; *11* – подземные горные выработки

В СССР недавно разведано на Чукотке *Западно-Палянское* месторождение ртути (рис. 94). Район его сложен терригенно-осадочными отложениями верхнего триаса и эффузивно-терригенными породами нижнего мела. Ртутное штокообразное оруденение локализуется в узких зонах пересечений двух систем нарушений и представлено тремя залежами – наиболее крупной столбообразной, пластообразной мощностью 20 – 50 м и линзообразной мощностью от 2–5 до 35 м.

К мезозойским относят также многочисленные месторождения, выявленные в последние годы в пределах протяженной зоны (до 400 км) в Западном Верхоянье. Оруденение наиболее изученного месторождения *Звездочка* приурочено к крутопадающей зоне брекчий мощностью от 0,4 до 10 м и представлено вкрапленностью киновари, реже метациннабарита и редко самородной ртути. В качестве примеси присутствуют халькопирит, пирит, галенит, сфалерит и арсенопирит.

Провинция широкого развития мезозойских сурьмяных руд выявлена в последние годы в Восточной Якутии, где, по данным Ю. В. Архипова и В. А. Биланенко, выделены два значительных рудных пояса: *Яно-Индигирский* и *Уяндино-Селенняхский*. В пределах первого пояса месторождения локализованы в средне- и верхнетриасовых отложениях, а второго – в нижне- и среднепалеозойских. В обоих поясах оруденение контролируется зонами глубинных разломов и проявлено в форме протяженных (до первых километров) минерализованных зон дробления мощностью от 1 до 20 м, а также жильно-штокверковых образований, приуроченных к системам трещин, оперяющих зоны крупных разломов. Руды отличаются высоким качеством. Содержание сурьмы в разведанной жиле *Сарылахского* месторождения (рис. 95) колеблется от 4–5 до 62%.

Мезозоем датируются многочисленные проявления ртутной и сурьмяной минерализации в Восточной Сибири. В Забайкалье они относятся к посленижнемеловому возрасту, приурочены к крупным разломам, окаймляющим мезозойские тектонические депрессии, и локализуются в бортовых частях депрессионных структур в пределах самих зон разломов или в некотором удалении от них.

По верхней возрастной границе ртутная минерализация моложе нижнего мела, поскольку в ряде месторождений оруденение приурочено к зонам брекчирования в отложениях нижнего мела или к их контакту с прорывающими порфиритами. Иногда ртутная минерализация отмечается также в зоне брекчирования, проходящей по контакту верхнеюрских вулканогенных образований с нижнемеловыми песчано-конгломератовыми отложениями. Наиболее распространенная форма минерализации – киноварьсодержащие кварцевые и карбонатные прожилки и жилы, которые нередко образуют месторождения типа штокверков. Одновременно киноварь наблюдается в виде вкрапленности в цементе брекчированных зон и в самих вмещающих породах. Примазки и прожилки приурочены преимущественно к плоскостям напластования и к контактам между отдельными разновидностями пород.

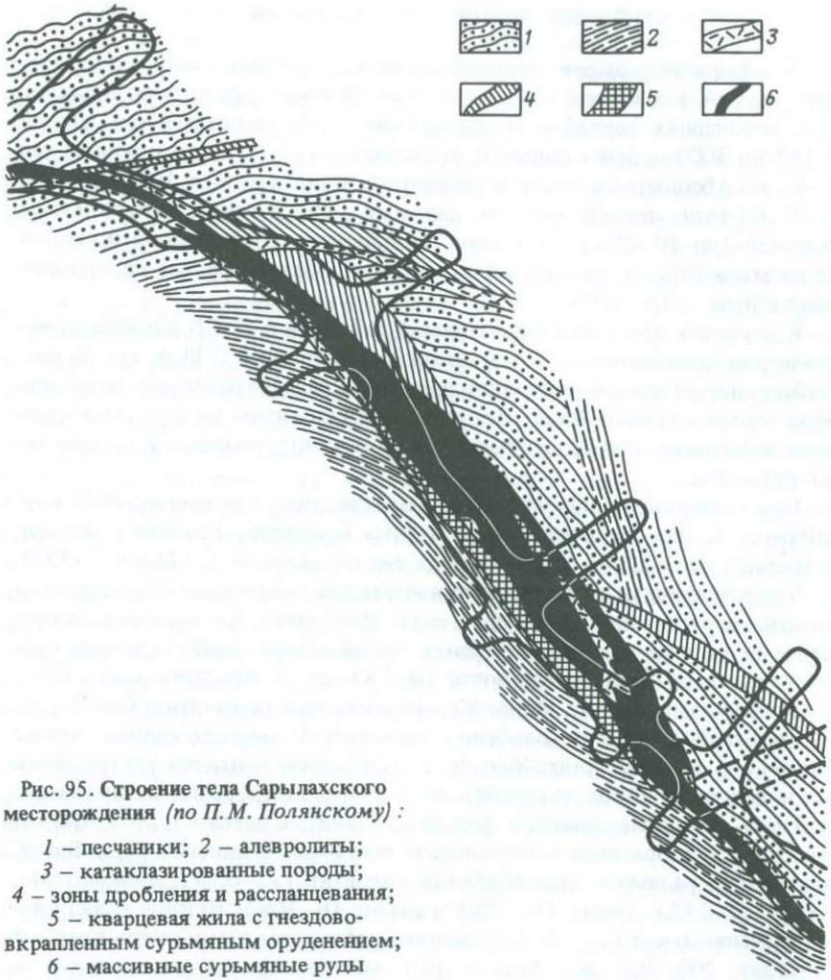


Рис. 95. Строение тела Сарылахского месторождения *(по П.М. Полянскому)*:

1 – песчаники; *2* – алевролиты; *3* – катаклазированные породы; *4* – зоны дробления и рассланцевания; *5* – кварцевая жила с гнездово-вкрапленным сурьмяным оруденением; *6* – массивные сурьмяные руды

Ртутное оруденение относится к эпитермальному типу и обычно отличается весьма разнообразным минеральным составом. Брекчированные зоны, в которых проявляется киноварь, часто содержат в составе цемента кварц нескольких генераций, халцедон, кальцит, реже доломит, арагонит, цеолиты, барит, флюорит, хлорит, каолин. Из рудных минералов в небольших количествах присутствуют пирит, антимонит, золото, стибнит, арсенопирит, реальгар, халькопирит, галенит, сфалерит.

Иногда киноварь в заметных количествах встречается в рудах вольфрамовых месторождений. Судя по взаимоотношению с вольфрамитом, бóльшая часть киновари образовалась в завершающей стадии рудного процесса; весьма часто киноварь располагается между кристаллами вольфрамита и окаймляет их.

Мезозойские редкометалльные пегматиты особенно широко распространены в А ф г а н и с т а н е, где они образуют ряд протяженных поясов, сложенных серией субпараллельных плитообразных тел длиной от 100 до 3000 м при мощности от долей до 4–5 м, а для крупных тел 30–40 м. Абсолютный возраст пегматитов колеблется от 100–120 млн. до 50–60 млн. лет. Основными ценными минералами в них являются сподумен (до 20–25%), лепидолит, поллуцит и петалит, попутно могут извлекаться берилл, касситерит и тантало-ниобаты. Среднее содержание лития в руде – 0,5–1,0%.

К мезозою относятся пегматиты Забайкалья в СССР и предположительно ряд пегматитовых полей штата Калифорния в С Ш А, где по масштабам минерализации выделяется издавна разрабатываемое лепидолитовое месторождение *Пала*. Попутно с лепидолитом из руд месторождения извлекаются драгоценные камни – кунцит, розовый и полихромный турмалин.

Более широко распространены мезозойские редкометалльные карбонатиты. К ним относятся карбонатиты Бразилии, Танзании, Малави, Мозамбика, Зимбабве, Уганды и ряд месторождений в США и СССР.

Многочисленные месторождения пирохлорсодержащих карбонатитов известны в ряде районов Б р а з и л и и. Наиболее крупные из них сосредоточены на юго-восточной окраине Бразильского щита, где они прослеживаются на протяжении почти 1000 км от юго-востока штата Гояс, через северо-запад штата Минас-Жерайс до южной части штата Сан-Паулу. По масштабам запасов особенно выделяется месторождение *Араша* (Баррейро) в штате Минас-Жерайс, приуроченное к штоку ультраосновных и щелочных пород позднемелового возраста, прорывающему докембрийские слюдяные сланцы и филлиты. Развитые здесь карбонатиты отличаются своеобразным минеральным составом: главными рудообразующими минералами в них являются магнетит (32–35%), лимонит, пирохлор (6–14%), барит (8–12%) и апатит (6–10%). Важное практическое значение имеет кора выветривания карбонатитов, мощность которой достигает 200–300 м. Запасы руд месторождения оцениваются в 300 млн. т при содержании 3,4–4,5% Nb_2O_5. На базе месторождения создан крупнейший за рубежом горно-обогатительный комбинат производительностью до 30 тыс. т концентратов, содержащих 58–60% Nb_2O_5. Добыча руды производится открытым способом. В 1978 г. производительность комбината достигла 10 150 т по содержанию ниобия в пирохлоровом концентрате. Запасы ниобия оцениваются в 7,7 млн. т при содержании его в руде 2,4–3,2%.

Другое крупное месторождение карбонатитов в штате Минас-Жерайс – *Тапира*, общие запасы руд которого оцениваются в 200 млн. т при среднем содержании ниобия 2,5%.

В штате Гоас в 1976 г. вошло в строй предприятие на базе месторождения *Каталао*, первая очередь которого рассчитана на выпуск 2300 т концентрата в пересчете на Nb_2O_5. Разведанные его запасы составляют 5 млн. т.

В качестве источника сырья для производства фосфатных удобрений представляют интерес карбонатиты месторождения Якупиранга, содержащие около 12% апатита. Из железистых минералов в карбонатитах развит преимущественно магнетит, среднее содержание которого не превышает 4%; в небольшом количестве встречаются пирохлор и бадделеит; постоянно присутствуют биотит, оливин, серпентин и пирит. В результате выветривания карбонатитов образовались остаточные залежи апатита с запасами около 7 млн. т при среднем содержании P_2O_5 23%. Абсолютный возраст карбонатитов определен в 135–150 млн. лет.

В США мезозойскими являются месторождения карбонатитов *Магнет-Ков* и, возможно, Айрон Хилл. Месторождение *Магнет-Ков* расположено в штате Арканзас и сложено комплексом щелочных пород, имеющим в плане форму эллипса размером 3 х 5 км. Щелочные интрузии прорывают толщу песчаников и сланцев каменноугольного возраста, и среди них выделяются отдельные участки, сложенные массивными, реже слоистыми карбонатитами. Последние состоят из кальцита с переменным количеством монтичеллита, апатита, магнетита, перовскита, рутила и брукита. Характерны для карбонатитов включения ксенолитов различных пород, почти нацело замещенных агрегатом эпидота, мусковита и везувиана. Породы щелочного комплекса и вмещающие их сланцы и песчаники рассечены разнообразными по составу щелочными дайками и серией полевошпат-карбонатных жил и неправильных тел, представленных биотит-апатит-кальцитовыми, альбит-доломитовыми, микроклин-кальцитовыми, альбит-анкеритовыми и кальцит-рутиловыми разностями, содержащими пирит, молибденит и рутил.

Титановые минералы встречаются повсеместно и образуют значительные концентрации не только в карбонатитах и породах щелочного комплекса, но и в песчаниках и сланцах. Они являются основными источниками ниобия, так как самостоятельных минералов этого металла на месторождении не обнаружено.

По данным спектральных анализов, содержание ниобия в перовските карбонатитов колеблется от 5,1 до 8,8%, а в перовските мельтейгитов не превышает 0,56%. В бруките содержание ниобия находится в пределах 0,8–9,6%, в рутиле достигает 1,7%. Среднее содержание Nb в рудах колеблется от 0,05 до 0,15%, TiO_2 – от 4 до 8%. Запасы руд трех разведанных участков составляют 8 млн. т.

Месторождения карбонатитов, генетически связанные с мезозойскими интрузиями щелочных пород, широко распространены в Африке. Особенно крупные ресурсы ниобия заключены в карбонатитовых месторождениях Танзании. Наиболее развито и разведано месторождение *Мбея* (*Панда Хил*). Карбонатитовый комплекс пород залегает среди докембрийских гнейсов, которые на контакте с карбонатитами интенсивно десилицированы, карбонатизированы и фельдшпатизированы. Комплекс состоит из кальцитовых и доломитовых карбонатитов и лампрофировых пород, известковых туфов, агломератов и жерловых брекчий. Аналогичные вулканические образования в соседнем районе прорывают пермотриасовые отложения, и на этом основании определяется нижняя возрастная граница оруденения. Верхняя граница устанавливается более до-

стоверно, так как карбонатитовый комплекс пород перекрывается неметаморфизованными меловыми отложениями.

Карбонатиты сложены в основном кальцитом и доломитом, иногда сидеритом и анкеритом. В качестве небольшой примеси присутствуют пирохлор, колумбит, апатит, сфен, касситерит, циркон, магнетит, гематит, пирротин, пирит, ильменит, галенит, оливин, амфибол и флогопит. Содержание Nb_2O_5 в пирохлоре составляет 55–56% и Ta_2O_5 – 0,5 –2,2%. В кальцитовых карбонатитах содержание Nb_2O_5 колеблется от 0,2 до 0,6%, в доломитовых разностях оно обычно ниже 0,2%. Общие запасы руд составляют не менее 125 млн. т при среднем содержании в них Nb_2O_5 0,3%. Кроме того, здесь широко распространены аллювиальные отложения, в которых среднее содержание Nb_2O_5 составляет 0,79% при колебаниях от 0,06 до 1,8%. Общие запасы ниобия оцениваются в 280 тыс. т.

Более 10 массивов карбонатитов, объединенных под общим названием серии *Чилва* и представляющих собой, возможно, вулканические жерла, выявлены в южной части М а л а в и. Центральная часть их сложена карбонатитами и брекчированными полевошпатовыми породами, а внешняя – сиенитами и ийолитами. Все эти вулканические образования прорывают отложения системы карру и перекрываются осадками и лавами раннемелового возраста. Диаметр наиболее крупного вулканического жерла Муамбе достигает 6,5 км. Карбонатиты сложены в основном кальцитом с переменным количеством апатита, калиевого полевого шпата, магнетита, пирохлора, рутила, анатаза, циркона, синхизита, барита, флюорита, биотита, флогопита и флоренсита. Месторождения недостаточно изучены. Общие запасы руд оцениваются в 50 млн. т при содержании 0,3% Nb_2O_5.

Сходные месторождения карбонатитов известны в Мозамбике и Уганде. Мезозойские карбонатиты У г а н д ы приурочены к четырем вулканам, в которых они составляют центральное ядро; последнее окружено концентрически-зональными каймами различных щелочных пород. Вулканы прорывают граниты, и внешняя зона их сложена щелочными гранитами. В наиболее крупном вулкане Сукулу диаметр центрального карбонатитового ядра достигает 3 км. Карбонатиты содержат в переменных количествах магнетит, апатит, пирохлор, бадделеит, циркон, барит, анатаз. Запасы редкометалльных карбонатитов месторождения Сукулу оцениваются в 200 млн. т при содержании 0,3% Nb_2O_5 и 13% P_2O_5. Апатит – один из наиболее распространенных минералов во всех месторождениях Уганды и присутствует не только в карбонатитах, но и в других породах щелочного комплекса. Большое практическое значение имеют элювиальные россыпи, образовавшиеся в результате разрушения карбонатитов. Они содержат около 25% магнетита, 15% апатита и до 0,4% пирохлора.

В З и м б а б в е выделяются два крупных месторождения карбонатитов – *Шамва* и *Дорова*. В обоих месторождениях карбонатиты слагают центральное ядро кольцевой структуры, а внешняя их зона представлена щелочными породами различного петрографического состава. Карбонатиты месторождения Шамва состоят преимущественно из доломита,

при подчиненном количестве кальцита, апатита и магнетита. Карбонатиты месторождения Дорова сложены доломитом с переменным количеством магнетита, амфибола и слюды. Среди карбонатитов выделяются линзообразные тела длиной до 275 м при мощности более 12 м, сложенные магнетитом и апатитом. Возраст карбонатитов определен в 209 млн. лет.

Запасы Nb_2O_5 в пирохлоровых рудах Зимбабве до глубины 150 м оцениваются в 80 тыс. т при содержании Nb_2O_5 0,26%. Запасы Ta_2O_5 составляют ориентировочно 8–10 тыс. т. Руды содержат также 0,012% U_3O_8 и 3,3% ThO. Рентабельные методы переработки руд еще не установлены.

В 1959 г. крупное месторождение карбонатитов *Луэш* открыто в провинции Киву в З а и р е. Запасы пирохлоровых руд этого месторождения оцениваются в 30 млн. т, при содержании в них Nb_2O_5 от 0,55 до 1,34%.

ЗОЛОТО

В мезозойских месторождениях заключены значительно более крупные запасы золота, чем в палеозойских, хотя они известны в сравнительно немногих странах. Крупнейшие районы распространения мезозойских месторождений золота расположены в Северной Америке, вдоль тихоокеанского побережья, в пределах обширного пояса, простирающегося от Аляски на севере до Калифорнии на юге.

В К а н а д е к ним относятся многочисленные месторождения Юкона и Британской Колумбии, генетически связанные с батолитами гранодиоритов Берегового хребта, внедрение которых происходило в послеюрское или раннемеловое время. Оруденение представлено кварцевыми жилами или жилообразными минерализованными зонами, пространственно тяготеющими к небольшим штокам гранита; последние рассматриваются как апикальные части или сателлиты упомянутых выше батолитов. Основу богатств этого района составляли речные и террасовые россыпи, в том числе пользовавшиеся мировой известностью россыпи р. *Клондайк* в Юконе и района *Баркервилла* в Британской Колумбии. В настоящее время эти россыпи в значительной части истощены, и годовая добыча золота из россыпных и небольших коренных месторождений не превышает 1 т.

Непосредственным продолжением этого района к северу служат золотоносные районы *Аляски* в С Ш А, где коренное оруденение также генетически связано с мезозойскими батолитами гранитоидов. Богатые россыпи Аляски, создавшие ей в свое время мировую славу, за более чем семидесятилетний период интенсивной эксплуатации почти целиком выработаны, и годовая добыча золота, составлявшая еще в 1921 г. 21 т, за последние годы снизилась до 1,9 т. Около 35% в общей добыче занимают многочисленные мелкие коренные месторождения. Они представлены сериями небольших кварцевых жил, в которых содержание золота ко-

леблется от 7 до 30 г/т. Золото в этих рудах обычно сопровождается пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом и пирротином.

Более крупные ресурсы золота сосредоточены в районах Тихоокеанского рудного пояса, расположенных к югу от Канады, где особенно выделяются золотоносные районы *Калифорнии*, занимающие обширную территорию (320 х 130 км) вдоль западных склонов хр. Сьерра-Невада. Так же как и на Аляске, основу богатств этих районов составляли высокопродуктивные третичные и четвертичные россыпи, к настоящему времени в значительной части выработанные, но в ряде районов сосредоточены коренные месторождения золота, генетически связанные с верхнемезозойскими батолитами гранитоидов.

Наиболее крупные из них приурочены к зоне *Мазер-Лод*, в пределах которой в полосе размером 200 х 1,6 км оруденение проявлено в форме минерализованных пород (преимущественно юрских зеленокаменных образований) и протяженных кварцевых жил, длина которых часто превышает 1000 м при мощности 3–6 м. Рудные залежи располагаются в сложной зоне взбросов. Жилы отличаются частыми раздувами и пережимами и концентрацией промышленной минерализации в форме отдельных рудных столбов. Они целиком сложены кварцем с небольшим количеством (1–2%) различных сульфидов. Содержание золота в разрабатываемых рудах составляет 7–10 г/т. Несколько более высоким содержанием золота характеризуются рудные залежи, представленные минерализованными породами, которые состоят из анкерита, альбита, кварца, пирита и арсенопирита. Отдельные рудные столбы встречены на глубине свыше 1000 м. За время эксплуатации добыто свыше 300 т золота.

Другой крупный золотоносный район в Калифорнии – *Грасс-Валли – Невада-Сити*. Здесь рудные жилы и жилообразные залежи также приурочены к зонам интенсивной трещиноватости, но залегают они как в метаморфизованных породах от палеозойского до юрского возраста, так и в интрудирующих их гранодиоритах. Считают, что формирование жил происходило в три стадии: к наиболее ранней относятся кварц, пирит и арсенопирит, за ними выделялись халькопирит и сфалерит и в завершающую стадию – более поздний кварц, тетраэдрит, галенит, золото и карбонаты. Кварц имеет полосчатое строение. Весьма распространен пирит: содержание его достигает 20%. В рудах встречаются молибденит, пираргирит, теллуриды и шеелит.

Оруденение прослежено до глубины 2000 м по вертикали, но проявляется весьма неравномерно. В одних жилах наблюдаются богатые карманы, в других – оруденение локализуется в форме крупных правильных столбов, длина которых составляет 700 м. Эксплуатационные работы достигли глубины 1600 м. В районе добыто свыше 200 т золота,

Годовая добыча золота в Калифорнии в послевоенные годы – 18–20 т, из которых более половины извлекалось из золотоносных россыпей. Всего в Калифорнии добыто около 3000 т золота.

Месторождения золота мезозойского возраста встречаются и в ряде других районов США, в частности в штате Колорадо, но существенного практического значения они не имеют.

В Азии к мезозойской эпохе рудообразования относится ряд сравнительно небольших месторождений золота в Японии, КНДР, Таиланде, Малайзии и КНР. Наиболее интересны из них месторождения КНДР, представленные золото-медными рудами. Они залегают среди докембрийских кристаллических сланцев на контакте с гранитами мезозойского возраста и, кроме самородного золота, содержат пирит, пирротин, халькопирит, борнит, галенит, сфалерит, тетраэдрит, висмутовый блеск и электрум.

Мезозойская золотая минерализация проявилась в азиатской части СССР. К этому возрасту относятся золоторудные месторождения, сосредоточенные в так называемом золотоносном поясе Северо-Востока СССР, который в структурном отношении представляет собой интрагеосинклиналь. В пределах этой территории, сложенной глинистыми, песчано-глинистыми сланцами, песчаниками и частично туфогенными отложениями пермо-триасового и раннеюрского возраста, а также верхнеюрскими и нижнемеловыми вулканогенными образованиями, по данным Ф. Р. Апельцина (1958 г.), золоторудные месторождения пространственно связаны с поясом малых интрузий преимущественно дайкового типа, приуроченных главным образом к наиболее прогнутой части интрагеосинклинали.

Ранние формации малых интрузий параллелизуются с определенными сериями эффузивных пород верхнеюрского вулканического комплекса, а более поздние формации – с вулканогенными образованиями раннемелового возраста. Между малыми интрузиями и их эффузивными аналогами устанавливается определенная связь, которая выражается в развитии переходных разностей и в постепенном изменении их минерального и химического состава.

Золоторудные месторождения в пределах интрагеосинклинали, парагенетически связанные с малыми интрузиями, относятся к золото-арсенопиритовой формации и характеризуются малосульфидными рудами со свободным крупным золотом, легко переходящим в россыпи. Вблизи геосинклинальных структур и передовых прогибов в районах развития верхнеюрских и нижнемеловых вулканогенных толщ распространены месторождения, отличающиеся многосульфидными рудами и тонкодисперсным золотом, не дающим шлиха.

Коренные месторождения представлены тремя морфологическими типами: 1) окварцованными зонами дробления в туфогенно-осадочных породах, насыщенными кварцевыми жилами и прожилками; свободное золото присутствует в кварце и в окварцованных боковых породах; 2) собственно кварцевыми жилами и прожилками; 3) интенсивно окварцованными дайками порфиритового и кварцевопорфирового состава.

Вопрос о возрасте золоторудных месторождений северо-восточных районов СССР продолжает оставаться дискуссионным. Все еще существует предположение о позднеюрском и догранитовом, „добатолитовом" их возрасте, впервые высказанное Ю. А. Билибиным в 1940 г. и позднее поддержанное П. И. Скорняковым (1949 г.). Они считали, что оруденение предшествовало внедрению гранитоидных батолитов, которые рас-

сматривались как синтектонические, связанные с колымской фазой складчатости. Существует и другое мнение, согласно которому формирование золоторудных месторождений происходило в раннем мелу. Подтверждением этой точки зрения служат результаты массовых определений абсолютного возраста изверженных пород, с которыми генетически связано оруденение. По данным Л. В. Фирсова (1960 г.), эти определения позволяют считать, что абсолютный возраст золотого оруденения находится в пределах между 135 млн. и 115–110 млн. лет и что образование месторождений происходило на границе юры и мела и в начале раннего мела, значительно позднее внедрения гранитных батолитов.

С коренными золоторудными месторождениями обычно связаны золотоносные россыпи, среди которых основное значение имеют аллювиальные. По морфологическим признакам выделяются три основных типа россыпей: пойменные, террасовые и погребенные. Наиболее распространены пойменные россыпи, реже террасовые и редко погребенные, залегающие в областях распространения ледниковых отложений.

К мезозойскому возрасту относится золотоносность Алданского щита. Золотое оруденение представлено здесь кварцево-сульфидными, кварц-анкеритовыми, кварц-полиметаллическими жилами и метасоматическими залежами, приуроченными к толще кембрийских известняков и доломитов. Кварцево-сульфидные жилы обычно залегают в низах кембрия, в зоне контакта с архейскими кристаллическими породами, а метасоматические залежи локализуются в верхней части разреза, приурочиваясь к контакту известняков с юрскими песчанистыми отложениями.

Локализация рудных тел определяется направлением и характером дизъюнктивных структур, а также положением экранирующих поверхностей пластовых интрузий и юрских песчаников. Золотое оруденение генетически связано с послеюрскими малыми интрузиями преимущественно щелочного состава.

Коренные месторождения послужили источником образования россыпей. Особенно широко развиты четвертичные россыпи долинного типа, но известны россыпные месторождения третичного возраста.

Золоторудные месторождения, обязанные своим происхождением мезозойскому магматизму, известны и в ряде других районов азиатской части Советского Союза.

В Забайкалье для многих мезозойских золоторудных месторождений характерно почти постоянное проявление золота в связи с кварц-турмалиновой минерализацией. При этом считают, что собственно турмалиновая минерализация предшествовала рудному этапу, и концентрация золота обусловлена более поздним кварцево-сульфидным этапом минерализации.

Главные рудообразующие минералы забайкальских месторождений – кварц нескольких генераций и турмалин. Постоянно присутствуют сульфиды, среди которых наиболее распространен пирит, образующий в рудах и вмещающих породах вкрапленность, гнездообразные и жилообразные скопления. Содержание пирита иногда достигает 30%, но в среднем составляет несколько процентов. В меньших количествах обыч-

но содержатся другие сульфиды – халькопирит, арсенопирит, висмутин, галенит, сфалерит, блеклые руды, антимонит и борнит. Часто, но в незначительных количествах присутствуют молибденит и шеелит. Золото преобладает мелкое до тонкодисперсного.

Наряду с золотом руды некоторых месторождений Забайкалья содержат в промышленных концентрациях медь, свинец, цинк и другие элементы. Известны также месторождения, где турмалин встречается только в виде редкой примеси, а главную массу жильного вещества составляет агрегат крупнозернистого молочно-белого кварца. Золото здесь отличается более крупными размерами и нередко встречается в срастании с галенитом и сфалеритом.

По типу оруденения преобладают жильные месторождения, хотя весьма широко развиты штокверковые зоны и зоны минерализованных раздробленных и метасоматически замещенных пород. Иногда месторождения отличаются своеобразными формами рудных тел – столбами-конусами, приуроченными к местам пересечения двух систем трещин. Образование жильных месторождений приходится на отрезок времени между верхней юрой и нижним мелом: золоторудные жилы некоторых месторождений отчетливо секут вулканогенные образования верхней юры, а гальки кварц-турмалиновых пород и кварца с молибденитом и золотом встречаются в конгломератах нижнего мела.

К более молодому возрасту относится золотое оруденение, приуроченное к меловым депрессиям Забайкалья и проявленное в форме минерализованных зон околожильных вмещающих пород (рис. 96). Главный рудообразующий минерал – кварц, представленный несколькими генерациями, которые обычно образуют полосчатые колломорфные крустификационные текстуры. Широкое развитие халцедоновидного кварца, присутствие в рудах псевдокальцитового кварца, адуляра, кальцита и каолина, геологическая позиция месторождений и условия залегания руд свидетельствуют о [illegible] поверхностном образовании последних. Возраст оруденения определяется достаточно точно, поскольку рудные жилы залегают в верхних горизонтах нижнего мела и перекрываются третичными отложениями.

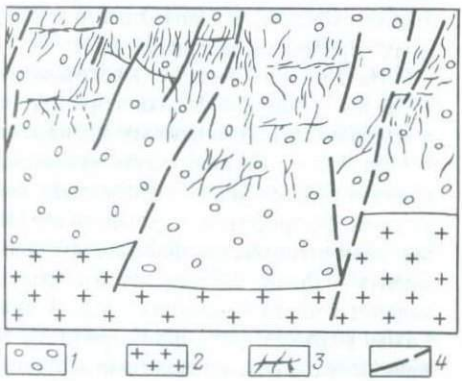


Рис. 96. Разрез через центральную часть Балейского месторождения
(по П. С. Бернштейну):

1 – меловые конгломераты;
2 – гранодиориты; *3* – рудные жилы;
4 – сбросы

Крупные запасы фосфоритов образовались в мезозое на территории СССР. Значительными запасами фосфоритов того же возраста располагают Мексика, Египет, Иордания и Израиль. Небольшие месторождения фосфоритов известны во Франции, Польше, Бельгии, а также в Индии. По-видимому, в конце мезозоя началось отложение фосфоритов на севере Африки, где в основном накопление их происходило в третичное время.

Ведущее положение по запасам и добыче фосфоритов мезозойского возраста занимает С С С Р, на территории которого, особенно в пределах Русской платформы, в прилегающих к ней районах Казахстана, а также на площади Узбекской ССР широко развиты платформенные месторождения желваковых (конкреционных) фосфоритов. Эти месторождения заключают примерно 45% запасов и обеспечивают 35% добычи фосфоритов в стране.

Месторождения фосфоритов приурочены к верхним горизонтам верхней юры (*Егорьевское* и *Батракское* месторождения) и к различным ярусам нижнего мела (Вятско-Камская группа месторождений) и верхнего мела (*Полпинское, Бычковское* и др.).

Фосфориты юрских и нижнемеловых месторождений богаты глауконитом и представляют собой фосфорсодержащие глинисто-глауконитовые конкреции, заключенные в глинистых породах. Мощность фосфоритных горизонтов достигает 1 м.

На *Вятско-Камских* месторождениях, занимающих площадь около 1900 км^2, фосфоритный горизонт мощностью от 0,5 до 1,8 м залегает в кварцево-глауконитовых песках валанжинского яруса мощностью от 0,8 до 3,5 м. Нижняя часть его мощностью от 0,1 до 0,25 м состоит из глауконитовых черных глинистых песков, переполненных мелкими желваками фосфоритов и фосфатизированных ядер ауцелл, которые местами сцементированы фосфатным веществом в плотный конгломерат – „плиту". Выше он сменяется глинистым глауконитовым песком темно-зеленого цвета мощностью 0,2–1 м с крупными желваками фосфорита. Самая верхняя часть фосфоритного горизонта представлена глауконитовым песком со скоплениями крупных округлых желваков фосфоритов.

Фосфориты представлены двумя генетическими типами. Внизу обычно залегают черные с глянцеватой поверхностью желваки, вымытые из отложений верхневолжского яруса, выше заключены желваки, образовавшиеся в нижнемеловое время. Содержание P_2O_5 в руде колеблется от 13 до 17,5%.

Месторождения фосфоритов верхнего мела приурочены главным образом к отложениям сеномана и сантона. Фосфориты представлены песчанистыми конкрециями с содержанием P_2O_5 в руде от 6,2 до 14,4% и в концентрате первичного обогащения до 15–18%. Продуктивность руды (содержание фосфорита в кг/м^2) колеблется от 560 до 2700.

На Полпинском месторождении развиты три горизонтальных слоя желваковых фосфоритов, залегающих в кварцево-глауконитовых песках

на глинах и песках альба и перекрытых песчанистым мелом турона и сеномана или четвертичными отложениями. Мощность нижнего слоя фосфоритов 0,05–1,5 м, среднего 0,05–2,5 м, а верхнего – всего 0,08 м. Фосфоритные слои разделены пятиметровыми толщами песков. Верхний слой имеет ограниченное распространение и не представляет практического интереса.

К верхнемеловым сантонским отложениям приурочена *Актюбинская группа* месторождений фосфоритов в Западном Казахстане. Число фосфоритных слоев на этих месторождениях достигает пяти (валанжинский, нижне- и верхнесантонские, маастрихтский, палеоценовый), но промышленное значение имеет преимущественно нижнесантонский горизонт, распространенный на больших площадях и хорошо развитый на всех месторождениях этой группы. Фосфоритный горизонт состоит из нескольких продуктивных слоев, представленных песчанистыми желваковыми фосфоритами и плитой (желваки, сцементированные фосфатным веществом). Общая мощность фосфоритных слоев около 1 м, продуктивность руды – от 792 до 2141 кг/м² (средняя около 1000 кг/м²) при содержании P_2O_5 в руде от 5,8 до 14% и в первичном концентрате от 12–16 до 20%. В большинстве случаев месторождения фосфоритов залегают вблизи от поверхности.

Резко возросли за последние годы ресурсы и добыча фосфоритов в И о р д а н и и за счет выявления, разведки и промышленного освоения ряда крупных месторождений, приуроченных к верхнемеловым асфальтовым известнякам. Доказанные запасы фосфоритов основных месторождений, пригодных к открытой разработке, составляют 1200 млн. т при содержании в рудах P_2O_5 25–34%. В 1980 г. производство товарной руды достигло 4,24 млн. т. Более скромными запасами (доказанные – 100 млн. т) и более низким содержанием P_2O_5 (24–28%) характеризуются одновозрастные фосфориты И з р а и л я. Производство здесь товарной руды в 1980 г. составило 2,61 млн. т.

Сходные месторождения фосфоритов разведаны в С и р и и, где общие их запасы составляют 600 млн. т, а доказанные 100 млн. т. Производство товарной руды достигло 1,22 млн. т.

В Е г и п т е на территории Западной пустыни, включающей оазисы Харга, Дахла и плато Абу-Тартур, широко развита фосфоритоносная формация верхнего мела, к которой приурочен ряд проявлений и месторождений фосфоритов. В последние годы здесь выявлено самое крупное в Египте месторождение *Абу-Тартур,* представленное продуктивным пластом (средней мощностью 3,86 м), залегающим на глубине 170–288 м. Фосфориты относятся к зернистому типу и образуют линзовидные залежи мощностью от 0,5 до 10 м. Максимальное содержание P_2O_5 в руде 30,19%, среднее – 25,6%. Площадь подсчета запасов руды 108,6 км². Минимальное бортовое содержание P_2O_5 в руде, принятое при подсчете запасов, 23%, минимальная принятая рабочая мощность пласта 1,3 м. При этих кондициях подсчитанные запасы фосфатов оцениваются в 987,8 млн. т. В результате применения магнитной и электрической се-

парации получается концентрат с содержанием 30,9% P_2O_5 при извлечении 78%.

Промышленные месторождения фосфоритов известны также в области Себайни, по обоим берегам Нила. Они характеризуются меньшей мощностью фосфоритных слоев, содержание P_2O_5 колеблется от 18 до 30%.

Разрабатываемые месторождения расположены на побережье Красного моря и приурочены к верхнемеловым отложениям (средний сенон). Они состоят из пяти-шести пластов фосфатизированного известняка мощностью от 0,6 до 2 м, разделенных прослоями глинистых и кремнистых пород мощностью до 9 м. Содержание P_2O_5 – 28–33%, а в добываемых фосфоритах – около 31%.

Общие запасы фосфоритов Египта оцениваются в 500 млн. т, из них доказанные – 150 млн. т. Добыча производится подземным способом; выпуск товарной руды в 1980 г. составил только 660 т.

Небольшие месторождения морских желваковых фосфоритов платформенного типа известны во Франции, Бельгии и Польше.

Во Франции к отложениям верхней юры (оксфорд и бат) приурочены месторождения департамента Тарн и Гаронна. Кроме того, имеются месторождения верхнемеловых фосфоритов в департаментах Соммы и Па-де-Кале. Фосфоритоносные пески заполняют карманы в фосфоритизированном мелу, содержащем до 12% P_2O_5. Содержание P_2O_5 в песчанистых фосфоритах составляет 10–20%. Месторождения фосфоритов Франции в значительной мере выработаны, и общие их запасы оцениваются в 5 млн. т. Часть этих запасов приходится на долю верхнепалеозойских (девонских) месторождений желваковых фосфоритов, в которых содержание P_2O_5 колеблется от 15 до 30%. Годовая добыча составляет 20 тыс. т P_2O_5.

В Бельгии в районе Монса в прошлом разрабатывался пласт фосфоритов вместе с подстилающим его закарстованным пластом мела, содержащим до 12% P_2O_5. На других месторождениях Бельгии (район Льежа) фосфориты образуют два пласта общей мощностью 0,4–0,5 м и содержат P_2O_5 25–27%. Общие запасы фосфоритов невелики – около 1 млн. т. Сведений о добыче нет.

Несколько небольших месторождений фосфоритов Польши приурочено также к верхнемеловым отложениям. Наиболее интересным представляется *Раховское* месторождение, обеспечивающее основную добычу фосфоритов в стране. Мощность фосфоритного пласта 0,5 м, содержание P_2O_5 18%.

Крупными ресурсами мезозойских фосфоритов обладает Мексика. Месторождения фосфоритов приурочены к отложениям юры и мела, среднее содержание P_2O_5 в них колеблется от 10 до 15%. Общие запасы фосфоритов оцениваются в 1000 млн. т, годовое производство составляет 30 тыс. т товарной руды.

Значительные ресурсы фосфатного сырья сосредоточены в комплексных месторождениях, приуроченных к массивам щелочных ультраосновных пород и карбонатитов мезозойского возраста. В СССР об-

ширная провинция развития этих пород – Маймеча-Котуйская – расположена в заполярной части Сибирской платформы. В ее пределах выявлено 22 массива щелочных ультраосновных пород и карбонатитов и связанных с ними магнетит-апатитовых руд. Возраст массивов, по данным определений калий-аргоновым методом, 225–245 млн. лет, т.е. триасовый.

Апатит-магнетитовые породы наиболее детально изученного массива содержат 36% магнетита с гидрогётитом, 63,5% апатита с франколитом и 0,5% акцессорных минералов (бадделеита, циркона, флогопита).

В апатит-форстерит-магнетитовых породах содержание магнетита (с небольшим количеством пирротина) составляет 59,4%, оливина – 11,7%, апатита – 14,4%, карбоната – 11,1%, флогопита – 2,0%, бадделеита – 0,1%, шпинели – 0,11%, серпентина, хлорита – 1,2%.

Среднее содержание P_2O_5 в апатит-магнетитовых породах 17,56%, Fe_2O_3 – 25,45%, в апатит-форстерит-магнетитовых породах соответственно 4,6 и 39,5%.

Прогнозные запасы руд формации коры выветривания до 50 м оцениваются в 30,6 млн. т при среднем содержании P_2O_5 17,5%, а по коренным рудам по глубины 400 м – 143 млн. т при среднем содержании P_2O_5 10%.

Крупные ресурсы апатитовых руд сосредоточены в карбонатитах Бразилии, расположенных преимущественно в штатах Сан-Пауло и Минас-Жерайс. Общие запасы их оцениваются в 1300 млн. т, из них доказанные составляют 755 млн. т при содержании в рудах P_2O_5 4,9–16%. Производство концентратов апатита в 1980 г. достигло 2710 тыс. т при содержании в них P_2O_5 34–38%.

Добыча апатитовых руд производится на шести массивах, формирование которых происходило в позднеюрское – раннемеловое время (134–151 млн. лет). В месторождении *Якупиранге* (штат Сан-Пауло), разрабатываемом с 1942 г., среднее содержание апатита составляет около 5%, минералов железа – только 4% (в основном магнетит); в рудах постоянно присутствуют пирит, биотит, оливин, серпентин, в небольших количествах встречаются пирохлор и бадделеит. В результате выветривания карбонатитов образовались остаточные элювиальные залежи апатита с запасами около 7 млн. т при содержании P_2O_5 23%. Общие запасы апатита оцениваются в 18 млн. т. Производство товарной руды на месторождении в 1977 г. составило 350 тыс. т при содержании P_2O_5 34–36%.

Примерно таким же масштабом минерализации характеризуется массив *Каталао* (штат Минас-Жерайс), доказанные запасы апатита которого составляют 17,7 млн. т при среднем содержании его в разрабатываемой коре выветривания 13%. Годовое производство товарной руды, содержащей в среднем 34% P_2O_5, составляет 400–600 тыс. т.

На месторождении Тапира в штате Минас-Жерайс предполагалось строительство рудника и обогатительной фабрики годовой производительностью 900 тыс. т концентратов, содержащих 36% P_2O_5. Продукция комбината в виде пульпы будет транспортироваться по трубопрово-

ду протяженностью 128 км до завода минеральных удобрений в Убераба.

К позднемеловому возрасту относится ряд разведанных месторождений фосфоритов, среди которых наиболее крупным представляется Олинда (50 млн. т доказанных запасов), расположенное в штате Пернамбуко. Общие запасы фосфоритов Бразилии оцениваются в 600 млн. т, из них доказанные – 100 млн. т. В 1980 г. произведено 280 тыс. т товарной руды.

Широко распространены мезозойские карбонатиты в Африке.

В Уганде они слагают центральные ядра четырех вулканов и сменяются к периферии щелочными породами разнообразного состава. Запасы нижнемеловых карбонатитовых руд наиболее крупного месторождения Сукулу оцениваются в 200 млн. т при содержании P_2O_5 13%. В районе *Бусумбу* запасы апатитовых руд с содержанием P_2O_5 30% составляют 20 тыс. т, а с содержанием 5% – 1 млн. т. Только один участок месторождения *Бутиру* (район Бугишу) заключает 5 млн. т руды с содержанием P_2O_5 от 8 до 35%. В зоне выветривания мощностью до 18–40 м апатит превращен в даллит и штаффелит. Фосфатизированная порода коры выветривания при тонком помоле может применяться непосредственно как удобрение.

Основное практическое значение имеют элювиальные россыпи, возникшие в результате разрушения карбонатитов. Они содержат примерно 15% апатита, около 25% магнетита и до 0,4% пирохлора.

Месторождение *Сукулу* разрабатывается с 1952 г.; годовое производство концентратов, содержащих до 40–41% P_2O_5, – 5–10 тыс. т.

Апатитсодержащие послекарруские карбонатиты известны в Зимбабве (*Дорова, Шамва*). В них выделяются линзообразные тела длиной до 275 м и мощностью более 12 м, сложенные магнетитом и апатитом. Месторождение Дорова разрабатывается с 1964 г. при годовом производстве 140 тыс. т товарной руды.

В Австралии сравнительно небольшие месторождения фосфоритов, приуроченные к отложениям триаса, выявлены в штате Новый Южный Уэльс в районе Сиднея.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ

В СССР с мезозойскими отложениями связаны калийные соли Среднеазиатского бассейна (площадью около 10 тыс. км^2), в пределах которого разведано 12 месторождений. Наиболее крупные из них – *Карлюкское, Карабильское* в Туркмении и *Тюбегатанское* в Узбекистане.

Карлюкское месторождение приурочено к соленосной толще верхнегаурдакской подсвиты верхней юры мощностью от 376 до 402 м. Выделено 11 пластов калийных солей, которые образуют два обособленных горизонта – верхний и нижний. Промышленное значение имеют пласты нижнего горизонта.

Карабильское месторождение представлено отложениями той же подсвиты, мощность которой равна 490 м. Соляная толща разделяется на две зоны: нижнюю – некалиеносную и верхнюю – калиеносную. Калиеносная пачка представлена одним калиеносным горизонтом, глубина залегания которого 606–1237 м. Выделяется пять пластов (снизу вверх): 4-й, 3-й, 2-й, 1-й сильвинитовые и „верхний карналлитовый". Пласты 4, 3 и 1 имеют выдержанный характер, средняя мощность их колеблется от 1,65 до 11,20 м. Второй и „верхний карналлитовый" пласты характеризуются изменчивой мощностью и содержанием хлористого калия.

Обширный калиеносный бассейн, приуроченный к соленосной формации Маха Сарахан мелового возраста, прослеживается от плато Корат в Таиланде на территорию Лаоса на общей площади около 60 км². Калийные пласты, представленные карналлитами (мощностью до 108 м) и сильвинитами (до 21 м), залегают на глубине от 90 м и более. Содержание K_2O в карналлитовых породах превышает 14%, а общие запасы солей оцениваются в 1 млрд. т.

Не менее крупный калиеносный бассейн, приуроченный к нижнемеловой соляной серии Ибура, выявлен в Бразилии при бурении на нефть в штате Сержипи. Залежи хлористых калийных солей общей мощностью до 80 м залегают на глубине 350–1100 м.

Значительными ресурсами калийных солей располагает Народная Республика Конго, где на базе открытого в 1960 г. месторождения *Олл* к 1969 г. сооружен рудник годовой проектной мощностью 500 тыс. т K_2O. Мезозойская соленосная толща средней мощностью 500–600 м сложена в основном галитом с пластами карналлитовых и сильвинитовых пород и редкими тонкими слоями глин. Насчитывается до 28 калийных пластов мощностью от 0,2 до 17–18 и даже 25 м. В карналлитовых пластах содержание K_2O достигает 16%, а в сильвинитовых 18–40%. Общие ресурсы карналлитового сырья оцениваются миллиардами тонн. Однако разрабатывались сильвинитовые залежи, извлекаемые запасы которых составляют около 10 млн. т K_2O. К 1977 г. добыча достигла только 80 тыс. т и была прекращена в связи с неожиданным прорывом на руднике рассола.

ФТОР

Промышленные месторождения плавикового шпата мезозойского возраста наиболее широко распространены в Азии, где крупные ресурсы его сосредоточены в СССР, КНР, МНР, Таиланде, КНДР и Южной Корее. В других странах этого континента встречаются мелкие месторождения неопределенного возраста; часть из них периодически разрабатывалась в незначительных масштабах.

В СССР к мезозойской эпохе рудообразования относятся многочисленные месторождения Забайкалья, приуроченные к разяичным по возрасту и составу комплексам пород. Плавиковошпатовые руды залегают среди разнообразных интрузивных, преимущественно гранитоид-

ных, эффузивных и осадочных терригенных пород, но независимо от характера вмещающих образований отличаются сходными чертами. Почти все они приурочены к зонам дизъюнктивных нарушений – к крупным разломам и сопровождающим их трещинам, и поэтому подавляющая часть рудных тел представлена жилами, иногда весьма протяженными (несколько тысяч метров), для которых характерны разветвления, апофизы, частое чередование тонких пережимов и мощных раздувов, наличие многочисленных обломков вмещающих пород. Очень редко встречается плавиковошпатовое оруденение в форме линз и пластообразных залежей. Обычно такие тела образуются в известняках и характеризуются преимущественно низким и неравномерным содержанием плавикового шпата.

Руды представлены в основном плавиковым шпатом и различными модификациями кварца (кварц, халцедон, опал). В качестве ничтожной примеси присутствуют кальцит, барит, адуляр, каолинит, цеолиты и очень редко сульфиды, в основном пирит. Из вторичных минералов встречаются лимонит, гематит, нонтронит, ярозит, серицит. Характерны брекчиевые симметричноленточные и кокардовые текстуры руд, в которых отчетливо отражаются все последовательные стадии кристаллизации минеральных комплексов. Различные генерации флюорита нередко отличаются резко различной окраской, а кварц представлен несколькими кристаллическими формами. Часть кварц-флюоритовых жил формировалась, по-видимому, из гидротермальных растворов, находившихся в период рудоотложения в коллоидном состоянии, о чем свидетельствуют колломорфные структуры кварца и флюорита.

Судя по минеральному составу, характеру проявления кристаллических форм, текстуре руд и околожильным изменениям, бóльшая часть известных в Забайкалье месторождений плавикового шпата относится к близповерхностным гидротермальным образованиям. По температурным условиям формирования Н.С.Лаврович (1937 г.) различал среди них три типа плавиковошпатовых руд: высокотемпературный (300–400°С), низкотемпературный (150°С и ниже) и промежуточный. Ряд исследователей полагают, что основное количество кальция, входящего в состав флюорита, заимствовано из вмещающих пород гидротермальными растворами, которые, помимо воды и кремнекислоты, несли только фтор. В пользу такого предположения свидетельствуют результаты сопоставления химических анализов измененных и неизмененных вмещающих пород некоторых месторождений.

Обращает на себя внимание крайне не равномерное распределение плавикового шпата в рудных телах: участки, почти нацело состоящие из плавикового шпата или содержащие его в значительных количествах, постепенно, а иногда и резко сменяются как по простиранию, так и по падению участками, сложенными преимущественно или целиком кварцем.

Возраст флюоритовой минерализации Восточного Забайкалья в ряде случаев определяется достаточно точно. Так, в Ульдургинском районе кварц-флюоритовые жилы прорывают верхнеюрские эффузивы, а об-

ломки полевошпатовых руд встречаются в континентальных отложениях нижнего мела. В Приаргунском районе установлена только нижняя граница плавиковошпатового оруденения, приуроченного также к верхнеюрским эффузивам.

Несколько более древними представляются месторождения плавикового шпата Калангуйского района, где кварц-флюоритовые жилы секут терригенные отложения нижней – средней юры и не встречаются в верхнеюрских образованиях. Возможно, что эти месторождения плавикового шпата, равно как и другие месторождения, расположены в пределах оловянно-вольфрамового пояса, сформировались в предверхнеюрское время и относятся к завершающему этапу единого металлогенического цикла, с которым связано также образование многочисленных месторождений вольфрама и олова. Подтверждением этого предположения может служить широкое проявление флюорита в оловянно-вольфрамовых рудах.

В Западном и Центральном Забайкалье кварц-флюоритовые жилы встречаются среди осадочных отложений гусиноозерской свиты, что свидетельствует о послераннемеловом возрасте этой флюоритовой минерализации.

Содержание CaF_2 в рудах разведанных месторождений Забайкалья изменяется в широких пределах, в среднем от 30 до 70%.

Наиболее изучено *Калангуйское* месторождение (Восточное Забайкалье), рудоносная жила которого приурочена к зоне разлома в песчаниках и глинистых сланцах ранне- и среднеюрского возраста и прослежена на протяжении более 1000 м при мощности от 0,5 до 15–20 м. Пережимом в 170 м жила разделена на два крыла длиной 250 и 700 м. Буровыми скважинами она прослежена до глубины 400–500 м. Примерно до глубины 150 м среднее содержание в рудах CaF_2 составляет 73–81%, а в более глубоких горизонтах – 62–63%; при снижении содержания флюорита соответственно увеличивается количество пирита и марказита. Кварц и каолинит имеют подчиненное значение. Месторождение разрабатывается более 45 лет. Начальные запасы руд оцениваются в 3 млн. т.

Весьма сходными чертами геологического строения и минерального состава руд характеризуются месторождения М Н Р. Здесь ряд месторождений приурочен к нижнемеловым эффузивам и осадочным отложениям. Среди них, так же как в Забайкалье, преобладает жильный тип месторождений; руды, отличающиеся высоким качеством, почти нацело сложены флюоритом при переменном количестве кварца.

К мезозою, по-видимому, относятся многие месторождения плавикового шпата в К Н Р, в частности ряд месторождений, сосредоточенных в северной и центральной частях провинции Чжецзян. Плавиковый шпат здесь образует неправильные жилы в риолите; их мощность колеблется от 2 до 9 м, а длина – от 20 до 3500 м. Содержание CaF_2 в добываемых рудах после их ручной разборки достигает 75–85%.

Широко распространены месторождения плавикового шпата в ряде районов Т а и л а н д а; их формирование также относится к мезозой-

скому возрасту. Более 80% добычи плавикового шпата приходится на месторождения провинции Лампхун, где действует около 30 рудников. Разрабатываются жильные месторождения, обеспечивающие значительную долю производства концентратов металлургических сортов. Доказанные запасы руд этих месторождений составляют 4 млн. т при среднем содержании в них CaF_2 45%.

Более крупные запасы плавикового шпата выявлены в 70-х годах в провинции Пхетбури – 10 млн. т руды, содержащей в среднем 40% CaF_2. Месторождения представлены кварц-плавиковошпатовыми жилами и метасоматическими залежами. На их базе созданы обогатительные фабрики, выпускающие концентраты металлургического и кислотного сортов.

Общие запасы плавиковошпатовых руд Таиланда оцениваются в 25 млн. т, из них доказанные составляют 19 млн. т. В 1980 г. производство концентратов составило 313 тыс. т.

Сходные по возрасту, морфологии руд и их качеству месторождения разрабатываются в КНДР и Южной Корее. Общие запасы плавиковошпатовых руд Южной Кореи оцениваются в 450 тыс. т, из них доказанные 300 тыс. т при среднем содержании плавикового шпата около 50%. Производство концентратов снизилось с 28 тыс. т в 1975 г. до 6,9 тыс. т в 1980 г.

В Европе к мезозою относятся месторождения И с п а н и и, расположенные в Астурии и представленные стратиформными залежами, локализованными в пределах одного горизонта известняков среднетриасового возраста и располагающимися в краевой зоне пермо-триасового бассейна Вильявисьоса. Флюорит ассоциирует с кварцем, пиритом и кальцитом. Здесь в провинции Овьедо выделяются два рудных района – Ла-Коллада и Каравиа. В районе *Ла-Коллада* метасоматическое пластовое оруденение прослеживается по простиранию до 700 м при мощности до 15 м и среднем содержании CaF_2 65%. Руды наиболее крупного в Каравии месторождения *Аврора* представлены мощными жилами (до 10 м), содержащими 85–90% CaF_2.

Другой район развития мезозойских месторождений плавикового шпата выявлен на юге Испании в провинции Альмерия на южных склонах Сьерра-Невада. Рудные тела локализуются в горизонте триасовых доломитов, образующих осадочный покров на крыльях антиклинали Сьерра-Невада. Представлены они секущими или согласными жилами, сложенными кварцем, кальцитом, флюоритом.

В С Ш А крупным источником производства плавиковошпатовых концентратов может стать флюоритово-оловянно-вольфрамовое месторождение, расположенное на полуострове Сьюард (Аляска). Здесь мраморизованные ордовикские известняки прорываются небольшими штоками биотитовых гранитов и многочисленными дайками мезозойских кварцевых порфиров и риолитов. Рудные тела залегают в дайках риолитов, в штоках измененных биотитовых гранитов и в породах, контактирующих с гранитами. Главные рудные минералы – касситерит и вольфрамит, нерудный минерал – флюорит. В небольшом количестве

содержатся сульфиды и редкоземельные минералы. Выделяются две крупные рудоносные зоны. Запасы первой зоны оцениваются в 33,1 млн. т руды со средним содержанием 0,27% Sn, 0,037% WO_3 и 15,6% флюорита. В этой зоне выделен более богатый блок с запасами 16,6 млн. т руды и средним содержанием 0,36% Sn, 0,048% WO_3 и 20,82% CaF_2. Месторождение пригодно к разработке открытым способом. Проектировалась разработка первой зоны при коэффициенте вскрыши 1 : 1,8 с ежесуточной добычей 4000 т руды или 1,4 млн. т руды в год с получением порядка 200–300 тыс. т CaF_2 в концентрате. В случае надобности мощность добычи может быть увеличена до 350 тыс. т CaF_2 в год.

АЛМАЗЫ

Алмазоносные кимберлиты Южной Африки, судя по последним данным, образовались преимущественно в палеогене, хотя не исключено, что формирование многих трубок началось еще в конце верхнего мела.

Более древними считаются многочисленные кимберлиты Восточной Сибири в С С С Р. Среди них, например, выделяются трубки допермского возраста, которые перекрываются горизонтально залегающими осадочными отложениями перми, в свою очередь перекрытыми траппами. Часто алмазоносные трубки прорывают траппы, а продукты их разрушения, пиропы и алмазы содержатся в нижнеюрских отложениях; в таких случаях можно с достаточной уверенностью утверждать, что кимберлиты образовались в отрезок времени после среднего триаса до нижнего лейаса. Известны также случаи, когда продукты разрушения кимберлитов и алмазы встречаются в верхнеюрских отложениях, в то время как развитые здесь же нижнеюрские отложения их не содержат. Наконец, в одной из трубок встречен белемнит, который, возможно, относится к меловому времени. По-видимому, внедрение кимберлитов в этой алмазоносной провинции происходило в несколько интрузивных фаз, так же как и излияние траппов.

Кимберлитовые трубки Восточной Сибири обычно связаны с зонами глубинных разломов и расположены в местах относительно приподнятого кристаллического фундамента вне поля массового развития траппов. В большинстве случаев вмещающими породами являются почти исключительно карбонатные отложения кембрия и ордовика.

Кимберлитовые трубки Сибири представляют собой породу зеленовато-серого или сине-зеленого цвета, сложенную оливином, серпентином, хлоритом, пиропом, ильменитом и магнетитом, которые заключены в основной массе, состоящей из карбонатизированного материала основного состава. В кимберлитах встречаются ксенолиты траппов и вмещающих карбонатных пород размером до 10–15 м. Верхние части кимберлитов интенсивно выветрелы и покрыты слоем пролювиально-делю-

виальных отложений небольшой мощности. Содержание алмазов в них сравнительно равномерное. С кимберлитами Восточной Сибири связаны россыпные месторождения.

К мезозойской эпохе рудообразования относят несколько мелких коренных месторождений алмазов, обнаруженных в ряде районов С Ш А, в частности кимберлитовую трубку *Пайн* в штате Арканзас, внедрение которой произошло на границе раннего и позднего мела.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭПОХА РУДООБРАЗОВАНИЯ

Кайнозойская эра охватывает промежуток времени в 70 млн. лет, из них на палеоген приходится примерно 30 млн. лет, неоген – 40 млн. лет и четвертичный период – 1 млн. лет. Тектонические движения в платформенных областях проявились в форме глубоких разломов, сопровождавшихся излиянием лав, а в геосинклинальных областях – в форме интенсивных складкообразовательных процессов при широком проявлении эффузивной и интрузивной деятельности. В Средиземноморской геосинклинали наиболее интенсивное складкообразование (альпийская складчатость) началось в конце эоцена, а краевые участки Восточно-Азиатской и Кордильерской областей были охвачены основной складчатостью в конце неогена, хотя отдельные ее фазы проявлялись уже с начала эоцена. В результате кайнозойских орогенических движений сформировались современные материки, океаны и рельеф земной поверхности.

Рудообразование третичного периода отличается исключительно разнообразным комплексом полезных ископаемых. Так, значительная доля в общемировых запасах и добыча приходятся на месторождения нефти, газа, угля, марганца, бокситов, меди, свинца, цинка, серебра, никеля, кобальта, молибдена, олова, вольфрама, ртути, сурьмы, титана, циркония, алмазов, серы и фосфоритов (табл. 7). В тот же период образовались крупные месторождения железных руд, хромитов, урана, многочисленные коренные и россыпные месторождения золота, широко известные месторождения калийных солей и плавикового шпата. Месторождения других видов минерального сырья характеризуются небольшими размерами и имеют только местное значение.

Многочисленные месторождения полезных ископаемых образовались в четвертичное время. К ним относятся огромные массы торфа, месторождения сапропеля, диатомита, поваренной и сульфатной солей; исключительно велико значение россыпных месторождений алмазов, золота, касситерита, вольфрамита, шеелита, ильменита, рутила, циркона, монацита. С вулканической и фумарольной деятельностью, которая продолжается и в настоящее время, связано образование промышленных скоплений бора, серы и ртути.

В третичных отложениях заключены огромные ресурсы нефти и газа. Одним из наиболее крупных нефтегазоносных районов является Месопотамская впадина, где к олигоценовым и нижнемиоценовым известнякам толщи асмари приурочены богатейшие в мире месторождения нефти Ирана и северной части Ирака.

Нефтеносные третичные отложения развиты также в районах, расположенных к северо-востоку от Месопотамской впадины, в пределах Центрально-Иранского срединного массива и Южно-Каспийской впадины. Промышленная нефтегазоносность третичных отложений установлена во многих других районах Азиатского континента.

Таблица 7

Распределение кайнозойских доказанных запасов и добычи (производства) важнейших видов минерального сырья развитых капиталистических и развивающихся стран по регионам

Полезные ископаемые	Всего		Западная Европа		Азия		Северная Америка		Центральная и Южная Америка		Африка		Австралия и Океания	
	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча
Нефть, млрд. т	19,1	0,49	0,7	0,05	11,2	0,12	2,2	0,17	2,7	0,08	2,1	0,05	0,2	0,02
Газ, млрд. м^3	21451	325	978	28	14666	66	2133	196	1892	23	1215	4	567	8
Уголь, млрд. т	154	0,32	41	0,19	4	0,04	67	0,04	1	0,01	–	–	41	0,04
Уран*, тыс. т	323	7,26	8	0,60	10	0,03	195	6,60	8	0,03	33	–	69	–
Железные руды, млн. т	5370	40,77	70	2,00	1520	3,92	600	8,15	2790	23,50	200	–	190	3,20
Марганцевые руды, млн. т	225	2,02	–	–	15	0,13	–	–	2	0,09	208	1,80	–	–
Хромовые руды*, млн. т	56	1,06	–	–	50	0,94	–	–	–	–	6	0,12	–	–
Алюминий (бокситы), млн. т	12705	67,69	–	–	1055	3,81	40	1,51	4285	23,13	4620	13,70	2705	25,54
Медь, млн. т	*245,5*	*3,32*	*0,1*	–	*21,6*	*0,42*	*76,4*	*1,31*	*138,3*	*1,41*	*0,6*	*0,01*	*8,5*	*0,17*
Никель, тыс. т	23170	222,5	1000	11,8	4715	74,8	–	–	2960	20,4	–	–	14495	115,5
Кобальт, тыс. т	*566*	6,90	–	–	433	2,55	–	–	–	–	25	0,30	108	4,05
Свинец, млн. т	16,6	0,52	0,2	0,02	3,4	0,05	8,4	0,20	4,6	0,25	–	–	–	–
Цинк, млн. т	25,6	0,97	0,2	0,03	7,4	0,10	9,0	0,24	9,0	0,60	–	–	–	–
Олово, тыс. т	464	31,81	–	–	9	0,56	50	0,13	405	31,05	–	–	–	–
Вольфрам, тыс. т WO_3	353	11,26	–	–	117	2,17	176	4,03	57	5,00	3	0,06	–	–
Молибден, тыс. т	5922	80,87	–	–	132	0,21	3500	62,57	2290	18,09	–	–	–	–
Ртуть*, тыс. т	57	2,30	12	–	12	0,25	21	1,01	–	–	12	1,04	–	–
Сурьма*, тыс. т	1272	21,72	170	1,26	92	0,86	380	2,39	505	16,45	155	0,76	–	–
Фосфориты и апатиты, млн. т	21220	78,52	–	–	110	1,84	2200	45,56	545	0,03	18310	29,59	55	1,50
Калийные соли*, млн. т K_2O	960	6,07	620	5,22	300	0,83	–	–	10	0,02	20	–	10	–
Плавиковый шпат, млн. т	71,2	1,21	0,1	–	0,1	0,01	65,0	1,14	2,0	0,03	4,0	0,03	–	–
Самородная сера, млн. т	*318,7*	*8,71*	*19,9*	*0,01*	*129,0*	*0,61*	*153,5*	*8,00*	*10,3*	*0,09*	*1,0*	–	*5,0*	–
Асбест*, млн. т	7,9	0,30	2,5	0,20	1,4	0,05	3,3	0,15	0,7	–	–	–	–	–

* *Даны общие запасы.*

В Пенджабской провинции Пакистана нефтегазоносны массивные трещиноватые известняки и песчаники эоцена, а также песчано-глинистые отложения миоцена. В северо-восточной части Индо-Гангской впадины, на территории Индии, промышленные нефтегазовые горизонты приурочены к отложениям миоцена и частично к олигоцену.

В Бирме в пределах Иравадийской межгорной впадины нефтегазоносны песчаники олигоцена и миоцена. Проявления нефти установлены здесь также в отложениях эоцена.

Промышленные скопления нефти и газа установлены в третичных отложениях Джунгарской, Цзюцюаньской и Цайдамской впадин и других районов КНР. С отложениями плиоцена и миоцена связаны сравнительно небольшие месторождения нефти в Японии.

К отложениям миоцена приурочены промышленные месторождения нефти на Суматре. Нефтегазоносность свойственна также почти всему разрезу отложений о.Калимантан.

На месторождения третичного возраста приходится около половины всех разведанных запасов и добычи нефти и газа в странах Северной и Южной Америки. К третичным песчаникам Примексиканской впадины и Калифорнии приурочены наиболее крупные месторождения нефти и газа США. Эти песчаники нефтеносны также в Мексике. С третичными отложениями связаны крупные месторождения нефти Венесуэлы, расположенные в бассейне озера Маракайбо и в Оринокской впадине. Промышленная нефтеносность установлена также в третичных песчаниках о.Тринидад, Колумбии, Перу, Чили и Боливии.

В последнее время установлена нефтегазоносность третичных отложений в ряде районов Африки. В Габоне продуктивные горизонты приурочены к сланцам нижнего эоцена, в Ливии – к известнякам палеоцена.

Сравнительно широко месторождения нефти и газа третичного возраста распространены в Западной и Центральной Европе. Наиболее крупные из них расположены в Британском и Норвежском секторах Северного моря. К песчано-мергелистым отложениям миоцена и плиоцена относятся нефтегазоносные отложения Румынии, Польши, Чехословакии, Венгрии, Югославии, Австрии, ФРГ и Италии.

В СССР большое значение имеют отложения среднего плиоцена Восточного Азербайджана, в которых заключены нефть и газ. Нефтеносны также терригенные образования миоцена Грозненского района и Кубано-Черноморской области. В Восточных Карпатах к отложениям среднего миоцена приурочены сравнительно крупные месторождения газа, а к отложениям олигоцена – месторождения нефти. Промышленные скопления нефти заключены в третичных отложениях Прикаспийской и Закаспийской низменностей и акватории Каспийского моря; с отложениями миоцена связаны месторождения нефти на Сахалине.

К свите грин-ривер (эоцен) приурочен крупнейший бассейн нефтеносных сланцев США, расположенных в штатах Колорадо, Юта и Вайоминг. Общие прогнозные запасы нефти в этих сланцах оцениваются от 400 млрд. до 900 млрд. т, а достоверные запасы от 250 млрд. до

290 млрд. т. Более 80 млрд. т нефти заключено в сланцах со средним содержанием битума 95 л/т.

К кайнозою относятся битуминозные сланцы, широко распространенные в Таиланде. Наиболее крупные месторождения приурочены к свите мэсот (плиоцен) в провинции Так. Достоверные запасы нефти в сланцах оцениваются (в разных источниках) до 400 млн. т.

Широко распространены месторождения углей третичного возраста. Бóльшая часть их представлена бурыми углями, которые используются многими странами в качестве энергетического топлива. В КНР, Японии и целом ряде других стран известны также месторождения третичных каменных углей, часть которых пригодна для производства кокса.

Почти повсеместным развитием третичные месторождения бурых углей и лигнитов пользуются в Европе, особенно в ГДР и ФРГ. В европейской части СССР крупные запасы бурых углей, заключенные в среднеэоценовых песчано-глинистых отложениях, развиты вдоль северо-восточных окраин Украинского кристаллического щита и Донецкого кряжа. В Норвегии к третичным отложениям приурочены месторождения газовых углей, частью хорошо коксующихся.

Крупнейшие ресурсы бурых, иногда полубитуминозных углей и лигнитов установлены в третичных отложениях платформенных областей Северной Америки. Наиболее крупные месторождения расположены на Аляске, где они приурочены к отложениям эоцена.

Сравнительно широко распространены третичные угленосные отложения в Азии. В Маньчжурии к олигоценовым отложениям приурочены мощные пласты каменного угля Фушуньского месторождения. В Японии угленосен почти весь разрез третичных отложений, но наиболее крупные месторождения каменных углей относятся к палеогеновому возрасту. На островах Калимантан и Суматра к палеогеновым отложениям также приурочены промышленные месторождения каменных и суббитуминозных углей.

В азиатской части СССР в третичных отложениях развиты преимущественно бурые угли, наиболее широко распространенные на Дальнем Востоке. На Сахалине к отложениям миоцена приурочены также каменные угли.

Мощные пласты третичных бурых углей преимущественно миоценового и плиоценового возраста разрабатываются в Австралии.

Большое практическое значение имеет кайнозойская кора выветривания, к которой приурочены крупнейшие в мире месторождения бокситов, никеля и кобальта.

Около 95% всех ресурсов бокситов в капиталистических и развивающихся странах заключены в месторождениях третичного возраста, образованных в результате латеритного выветривания различных осадочных, метаморфических и изверженных пород. К ним относятся богатейшие месторождения Австралии, Гвинеи, Ямайки, Суринама, Гайаны и Ганы, бокситы которых отличаются высоким качеством, залегают вблизи от поверхности и разрабатываются открытым способом.

Многочисленные месторождения бокситов, приуроченные к третичной коре выветривания, известны в других странах Южной Америки и Африки. Они разрабатываются также в США (штат Арканзас), в Индии, Индонезии, Малайзии и Югославии.

Кайнозойская кора выветривания заключает большую часть общих и разведанных мировых запасов никеля и кобальта. Залежи этих месторождений, представленные силикатными рудами, занимают значительные площади Новой Каледонии, Австралии, Кубы, Филиппин, Индонезии, Бразилии, Гватемалы, Доминиканской Республики, ЮАР и ряда других стран южных континентов. Помимо никеля и кобальта, эти руды, как правило, содержат повышенное количество железа (более 35%). Запасы их огромны.

Значительный удельный вес в мировых запасах и добыче марганцевых руд занимают месторождения Украины и Грузии, приуроченные к олигоценовым отложениям, и месторождение Габона, образование которого происходило, вероятно, в более позднее время. Многочисленные месторождения марганца третичного возраста, известные в ряде других стран, обычно характеризуются небольшими размерами и низким качеством руд.

Кайнозойскими можно считать широко распространенные в Тихом и Атлантическом океанах залежи марганцевых конкреций. Общие их ресурсы оцениваются в 400 млрд. т, в которых ориентировочно содержится 40 млрд. т марганца.

В СССР сосредоточена также большая часть мировых ресурсов железных руд третичного возраста. Они представлены оолитовыми бурыми железняками, приуроченными к отложениям киммерийского яруса плиоцена на Керченском полуострове и к отложениям среднего олигоцена в Тургайском прогибе.

Широко распространены третичные осадочные железные руды в США, особенно в штатах Алабама и Техас, где они приурочены к отложениям среднего эоцена.

К третичному возрасту в ряде стран относятся крупные ресурсы железных руд, связанных с корой выветривания.

В третичное время образовались метасоматические месторождения железных руд Мексики, Румынии, Югославии, Австралии и Индонезии.

Сравнительно широко распространены месторождения хромитов третичного возраста. Наиболее крупные из них сосредоточены на Филиппинах, где они связаны с палеогеновыми ультраосновными интрузиями. Здесь развиты преимущественно низкосортные руды, пригодные главным образом для использования в огнеупорной промышленности.

Более богатые руды сосредоточены в третичных месторождениях хромитов в Новой Каледонии и Турции. Небольшие месторождения хромитов, связанные с третичным магматизмом, известны в Японии, на Кипре и в СССР (в Закавказье).

Большая доля мировых запасов и добычи меди приходится на многочисленные месторождения меднопорфировых руд, известные на территории юго-западных штатов США, Мексики, Чили и Перу; в них за-

ключено более 85% общих запасов меди США, почти все запасы меди Чили (95%) и значительные ресурсы молибдена. Месторождения генетически и пространственно связаны с палеогеновыми гипабиссальными интрузиями гранит-порфиров, кварц-монцонит-порфиров и других пород, преимущественно гранитоидного состава. С этой интрузивной деятельностью связано также одно из крупнейших в мире месторождений меди жильного типа Бьютт (США).

С гипабиссальными малыми интрузиями диоритов и диорит-порфиров третичного возраста в Филиппинах ассоциируют многочисленные месторождения меди, главным образом порфирового типа. Кайнозойские месторождения меднопорфировых руд в последнее время выявлены, разведаны и освоены промышленностью в ряде других стран Тихоокеанского рудного пояса. В СССР медно-молибденовые месторождения этого возраста сосредоточены в Закавказье. Разведаны они также в Болгарии. С проявлениями третичного магматизма связаны промышленные месторождения медноколчеданных руд в Югославии, на Кубе, Филиппинах, в Японии, на о.Тайвань и в СССР (Закавказье). Скопления меди обнаружены в песчано-мергелистых отложениях верхнего олигоцена, распространенных на большой площади в Испании.

Почти все ресурсы молибдена капиталистических и развивающихся стран сосредоточены в юго-западных районах США. Здесь расположены крупнейшие в мире месторождения молибдена Клаймакс и Гендерсон, а также ряд других месторождений, открытых в последнее время. Все они образовались одновременно с меднопорфировыми месторождениями и характеризуются сходными геологическими условиями.

С кайнозойским этапом магматизма генетически связаны крупные месторождения серебросодержащих полиметаллических руд и собственно серебряных руд в США, Мексике и Перу, многочисленные сравнительно небольшие месторождения свинца и цинка в Боливии и Чили, а также ряд месторождений серебра в Канаде. Рудные залежи часто ассоциируют с дайками и штоками интрузивных пород, прорывающими верхнемеловые отложения; иногда (в Мексике) они заключены в третичных эффузивных андезитах и риолитах.

Значительно меньшую роль в мировых ресурсах свинца, цинка и серебра играет другой район развития кайнозойского полиметаллического оруденения – Средиземноморский бассейн, где на территории Югославии, Испании, Болгарии, Греции, Марокко, Алжира и Туниса известны многочисленные, но преимущественно небольшие полиметаллические месторождения. В Северной Африке оруденение контролируется зонами тектонических нарушений, образованных в интервале времени от эоцена до миоцена. Предположительно третичными считаются полиметаллические месторождения Нигерии. Рудные жилы здесь секут нижнемеловые отложения, но верхняя их возрастная граница достоверно не установлена.

Около 70% всех ресурсов олова капиталистических стран заключено в россыпных месторождениях, сосредоточенных главным образом в пределах Малаккской оловоносной провинции Юго-Восточной Азии.

Крупные коренные месторождения олова расположены в Южно-Американских Кордильерах (Боливийские Анды), где они связаны с позднетретичными гранодиоритами и штоками кварцевых латитов. Руды содержат в промышленных концентрациях вольфрам и серебро. К кайнозою относятся также многочисленные касситерит-сульфидные месторождения Приморья и Чукотки в Советском Союзе.

Все крупные месторождения ртути зарубежных стран, за исключением месторождения Альмаден, отнесенного нами предположительно к верхнему палеозою, образовались в кайнозое. К ним принадлежат богатейшие месторождения ртути в Италии и Югославии, генетически связанные с проявлениями послеэоценового магматизма, а также многочисленные месторождения США и Перу.

С месторождениями ртути обычно ассоциируют сурьмяные месторождения, но наиболее крупные из них, занимающие значительный удельный вес в общих запасах и добыче сурьмы в капиталистических и развивающихся странах, сосредоточены в Боливии и Мексике, где известны также небольшие проявления ртути.

В США (штат Айдахо) известны месторождения золото-сурьмяных руд, генетически связанных с третичными интрузиями кварц-монцонитов.

Крупные ресурсы бериллия, заключенные в гидротермально измененных миоценовых туфах, выявлены в США. Рудные минералы представлены здесь бертрандитом, фенакитом и эвклазом. Значительными источниками лития являются озеро Сёрлс в США, салары Чили и соляные озера Боливии.

Широко распространены кайнозойские золотоносные россыпи. Особенно важное значение имеют аллювиальные россыпи как современные – русловые, долинные и террасовые, так и третичные – погребенные. Большинство коренных месторождений золота кайнозойского возраста сосредоточено в Кордильерах, на территории США, где они связаны преимущественно с малыми интрузиями дацитового состава, а также с проявлениями вулканической деятельности.

Коренные месторождения золота в форме зон вкрапленности и трещинных кварцевых жил приурочены к третичным осадочным отложениям и андезитам в Колумбии, Аргентине, Перу и Боливии. С проявлением третичного магматизма связаны коренные месторождения золота в Индонезии, Филиппинах, Японии, Румынии, Чехословакии, Югославии.

В ряде стран известны месторождения урана третичного возраста, обычно отличающиеся мелкими размерами. Исключение составляют третичные месторождения карнотитовых руд США, которые являются крупными источниками урана и ванадия. В западных штатах открыт ряд новых урановых месторождений. Абсолютный возраст одного из них (Мэрисвейл) определен в 10 млн. лет.

Значительные ресурсы урана заключены в месторождениях фосфоритов Северной Африки, образовавшихся в конце мела и начале эоцена, а также в ильменитовых прибрежно-морских россыпях Индии. Урановое оруденение установлено в конгломератах и песчано-глинистых отложениях позднего миоцена или раннего плиоцена в Японии. Третич-

ные месторождения урана известны также в Аргентине, Португалии и Франции.

Крупнейшие ресурсы ильменита, рутила, циркона, монацита и колумбита заключены в аллювиальных и прибрежно-морских россыпях Индии, Австралии, США, Бразилии и других стран. Во многих россыпях интенсивное накопление этих минералов продолжается и в настоящее время.

Кайнозойская эпоха рудообразования занимает ведущее положение в ресурсах ряда важнейших видов неметаллического минерального сырья.

Богатейшие ресурсы алмазов заключены в кайнозойских месторождениях Африки.

Значительные ресурсы серы сосредоточены в соляных куполах Примексиканской впадины. Месторождения природной серы известны также в Бразилии, Чили, Аргентине, Боливии, Эквадоре и Перу. Отложения миоцена содержат крупные месторождения серы в Польше и сравнительно небольшие во Франции, Италии, Японии.

Большое практическое значение имеют калийные соли, заключенные в отложениях и рассолах озера Сёрлс в США и в водах Мертвого моря. Калийные соли третичного возраста известны также в Эфиопии.

В СССР промышленные залежи серы и калийных солей приурочены к миоценовым отложениям Предкарпатья. К отложениям олигоцена приурочены месторождения калийных солей во Франции и Испании, а также сравнительно мелкие месторождения ФРГ.

К третичному времени относится образование крупных гидротермальных месторождений плавикового шпата в Мексике и в западных штатах США. Многочисленные преимущественно жильные месторождения плавикового шпата известны в Аргентине, Бразилии, Боливии, Марокко, Тунисе и Италии.

Значительная доля мировых запасов и добычи фосфоритов приходится на третичные месторождения Северной Африки и США.

НЕФТЬ И ГАЗ

Значительные ресурсы нефти и газа заключены в кайнозойских месторождениях, расположенных преимущественно в районах проявления альпийской складчатости, как правило, в предгорных и межгорных впадинах. Месторождения этого возраста известны на всех континентах, и в ряде стран их удельный вес в общих запасах и добыче нефти и газа велик.

Крупные ресурсы кайнозойской нефти сосредоточены в странах Западного полушария – в США в пределах Примексиканской впадины и межгорных впадин Калифорнии, и в Венесуэле, в бассейне озера Маракайбо и Оринокской впадине. Нефтегазоносен в этих районах весь разрез третичных отложений, но наиболее высокой продуктивностью отличаются песчаники миоцена и олигоцена.

Большие запасы нефти и газа заключены в третичных песчаниках, развитых на побережье Мексиканского залива в Техасе и Луизиане. Это наиболее богатая часть Примексиканской впадины (в пределах США), которая является крупнейшим в стране нефтегазоносным районом. За все время эксплуатации (с 1896 г.) в этом районе добыто примерно 4,0 млрд. т нефти, в том числе более 3,0 млрд. т – из третичных отложений. Среди последних наибольшей продуктивностью отличаются отдельные горизонты песчаников олигоцена и эоцена, накопление которых происходило преимущественно в прибрежно-морских условиях. Месторождения этого обширного района, охватывающего территорию многих штатов, связаны в основном с солянокупольными структурами и представлены разнообразными типами залежей в зависимости от характера и залегания по отношению к соляному куполу. Значительно реже встречаются месторождения, приуроченные к погребенным структурами межкупольных пространств.

В 1958 г. на побережье Мексиканского залива открыто крупное высокодебитное месторождение газа Порт-Акр. Продуктивные горизонты месторождения, представленные песчаниками олигоцена, залегают на глубине 3135–3620 м. Суточный дебит одной из скважен составил 12,6 млн. м^3 газа и 3360 т конденсата.

Позднее в штате Техас выявлены и другие газовые месторождения с продуктивными горизонтами в песчаниках Фрайо (олигоцен) на глубине более 2900 м с дебитами скважин до 28 тыс. м^3 сут.

Ряд новых месторождений нефти и газа открыт в штате Луизиана; из них 9 связаны с отложениями миоцена, 5 – плиоцена и 13 – плейстоцена.

В Примексиканской впадине разрабатываются более 1000 нефтегазовых месторождений, но почти половина всех запасов и добычи приходится на 75 месторождений, расположенных преимущественно на побережье Техаса и Южной Луизианы. Начальные дебиты некоторых скважин на этих месторождениях составляли 1500 т нефти и более. Годовая добыча газа преимущественно из третичных отложений в штатах Техас и Луизиана достигала 200 млрд. м^3. Геологоразведочные работы последних лет сосредоточены главным образом в пределах шельфа на территории штатов Техас и Луизиана, где на участках моря разрабатываются многочисленные месторождения. Продуктивные горизонты их приурочены к мощной толще миоценовых отложений. Пробуренные до глубины 4570 м скважины не вышли из этой толщи.

Начальные извлекаемые запасы нефти и конденсата в шельфовой зоне Мексиканского залива оцениваются в 920 млн. т и природного газа в 1870 млрд. м^3, достоверные запасы на начало 1978 г. известных здесь 294 месторождений составляли соответственно 365 млн. т и 990 млрд. м^3. Годовая добыча нефти с конденсатом на акватории Мексиканского залива, примыкающей к Луизиане и Техасу, уменьшилась с 52,6 млн. т в 1974 г. до 45,9 млн. т в 1976 г. и 43,2 млн. т в 1977 г., а добыча газа за этот период увеличилась со 113,3 млрд. т в 1974 г. до 118,9 млрд. т в 1976 г. и 123,6 млрд. м^3 в 1977 г. В 26 морских место-

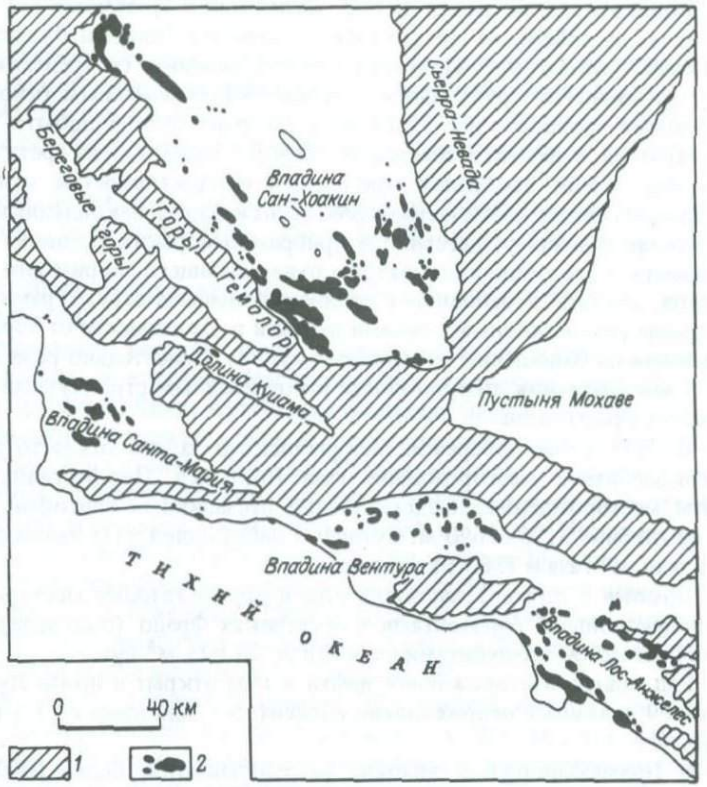


Рис. 97. Расположение нефтегазоносных областей в Калифорнии *(по В. Фер Вибе)*:

1 – зоны поднятий складчатых сооружений;
2 – нефтяные месторождения

рождениях, начальные доказанные запасы которых превышают 13,5 млн. т нефти, в 1977 г. было добыто 26,2 млн. т или 60,6% общей добычи региона, а всего к началу 1978 г. из этих месторождений было добыто 518,6 млн. т нефти.

Один из крупных районов третичной нефтегазоносности – Калифорния (рис. 97), где основные месторождения нефти и газа расположены на тихоокеанском побережье. Продуктивные горизонты в них представлены слабо сцементированными песками плиоцена и миоцена, реже эоцена и олигоцена. В общей добыче нефти в штате, составляющей более 40 млн. т в год, отложения миоцена занимают примерно 50%, плиоцена – 40%, эоцена – 6%, олигоцена – 3% и плейстоцена – 0,2%.

Особенности калифорнийских месторождений – отчетливые формы их антиклинальных структур, большая мощность нефтеносных песков,

концентрация значительных количеств нефти в пределах небольших по площади месторождений, наличие высококачественных легких нефтей и большая глубина залегания продуктивных горизонтов. Здесь пробурен ряд глубоких скважен (до 6550 м). В ряде месторождений насчитывается до 40 отдельных продуктивных горизонтов мощностью от 2–3 до 30 м, а иногда и выше 100 м. Продуктивные зоны отделены друг от друга мощными толщами глин и глинистых сланцев; общая мощность продуктивной части третичных отложений достигает 1600 м.

Известен ряд месторождений, на которых получено более чем по 100 млн. т нефти. Так, на одном из наиболее крупных месторождений – *Вилмингстон* – начиная с 1937 г. из песков нижнего плиоцена и верхнего миоцена добыто более 200 млн. т нефти. Газ в месторождениях Калифорнии находится в растворенном (в нефти) состоянии, образует мощные газовые шапки или концентрируется в отдельных собственно газовых горизонтах.

Небольшие месторождения нефти кайнозойского возраста известны на территории Аляски, но существенного значения в запасах и добыче они не имеют.

Крупные потенциальные ресурсы нефти (250 млрд. т) сосредоточены в эоценовых (формация грин-ривер) битуминозных сланцах, расположенных в штатах Колорадо (около 81%), Юта (4%) и Вайоминг (15%). Из них 83 млрд. т нефти заключено в сланцах со средним содержанием 95 л/т.

К третичному возрасту относятся месторождения газа, открытые в последнее время в арктической части К а н а д ы. Высоко оцениваются перспективы бассейна р. Маккензи, где с 1956 г. пробурено 130 скважин и выполнены значительные работы по сейсморазведке, которыми выявлено 17 нефтегазоносных полей, располагающих значительными запасами нефти и газа и характеризующихся высокой продуктивностью.

Наиболее перспективна для поисков нефти и газа толща дельтовых отложений третичного возраста, мощность которой достигает 6 тыс. м. Ориентировочно считают, что в 1 куб. миле (1 миля ≈ 1,6 км) третичных дельтовых отложений р. Маккензи содержится около 11 тыс. т нефти и 1700 м^3 газа.

Благоприятные структуры обнаружены и в шельфовой зоне моря Бофорта, где разведочное бурение производилось с платформы и с судов (на глубинах 30–40 м) в тяжелых условиях канадской Арктики. Потенциальные запасы бассейна, по предварительному подсчету, оцениваются в 1,4 трлн. м^3 газа и 810 млн. т нефти, которые размещены в основном под отложениями моря Бофорта. Многие специалисты полагают, что в будущем бассейн р.Маккензи может стать основным нефтегазодобывающим районом Канады.

В М е к с и к е месторождения нефти и газа кайнозойского возраста расположены на юге страны, в районах Примексиканской равнины, которые являются непосредственным продолжением нефтегазоносных областей Техаса и также характеризуются широким развитием соляно-купольных структур. Во впадинах Истмас и Табаско третичные продук-

тивные горизонты представлены песчано-алевритовыми отложениями плиоцена, миоцена и олигоцена и залегают на глубинах от 600 до 1900 м. В результате разведочных работ последних лет установлена высокая перспективность продуктивных отложений плейстоцена. Появились оценки начальных запасов нефти в Мексиканской части впадины, заключенных в мезозойских, кайнозойских отложениях, – до 10 млрд. т и газа до 10 трлн. м^3.

Достоверные запасы нефти на начало 1982 г. в стране возросли до 539 млн. т и газа – до 2150 млрд. м^3.

На Южно-Американском континенте крупными запасами нефти и газа третичного возраста располагает В е н е с у э л а. Основные месторождения, которые обеспечивают 75% всей добываемой в стране нефти, сосредоточены в бассейне озера *Маракайбо* (рис. 98). Важнейшее значение имеет район *Боливар-Коастал* на восточном побережье озера. Протяженность этого богатейшего нефтегазоносного района – более 75 км, ширина, включая акваторию озера, – более 200 км. Продуктивны здесь песчаники свит ла-роса и икотеа (олигоцен) и лавила (миоцен), залегающие на глубинах 171–2571 м. Начальные запасы нефти оцениваются в 4,3 млрд. т, из них добыто 2,8 млрд. т.

Многочисленные залежи нефти и газа приурочены к третичным отложениям *Оринокской* впадины, которая, однако, по добыче и запасам уступает бассейну Маракайбо. Продуктивные горизонты встречаются в пределах всего разреза третичных отложений от плиоцена до эоцен-олигоцена включительно. Коллекторами являются песчаники, залегающие на глубинах от 1000 до 3500 м.

В 1980 г. добыто 108,4 млн. т нефти. В эксплуатации находилось 13 453 скважины со среднесуточной добычей на одну скважину 21,9 т. Попутно с нефтью произведено 8,7 млрд. м^3 товарного газа.

К пескам и песчаникам миоцена и олигоцена приурочена основная промышленная нефтеносность о.*Тринидад*. Продуктивные горизонты встречаются также в отложениях эоцена и верхнего мела.

Успешно проводится поисково-разведочное бурение на юго-восточном шельфе Тринидада. На ряде участков получены промышленные притоки нефти, газа и конденсата. На открытом в 37 км от берега при глубине дна 67 м месторождении *Кискади* в одном из интервалов опробования получен приток газа дебитом 416 тыс. м^3/сут, а конденсата 3 т/сут. На месторождении *Айбис* в скважине, пробуренной в 35,4 км от берега при глубине дна 67 м, получены притоки нефти дебитом 201 т/сут и газа дебитом 133 тыс. м^3/сут.

Добыча нефти в Тринидаде и Тобаго в 1980 г. составила 10,6 млн. т. Достоверные запасы нефти – 76 млн. т. Запасы газа оцениваются в 345 млрд. м^3; добыто его в 1980 г. 2,4 млрд. м^3. Страна занимает видное место в мире по добыче асфальта третичного возраста.

Широко распространены третичные нефтеносные отложения в К о л у м б и и. Наиболее крупные месторождения, из которых извлечено более 80% добытой в стране нефти, расположены в бассейне р. Магдалены, на западных склонах Кордильер. Продуктивны песчаные коллек-

Рис. 98. Маракаибский бассейн:

1 – основные нефтяные месторождения; *2* – крупнейшие выходы нефти; *3* – оси антиклинальных зон и крупных антиклиналей

торы миоцена, олигоцена и эоцена, а также рифовые известняки верхнего олигоцена. В разрабатываемых месторождениях они вскрыты на глубинах от 250 до 2540 м.

Месторождения нефти третичного возраста разрабатываются также в пределах Маракайбской впадины, где продуктивные горизонты представлены песчаными отложениями эоцена, а также в Прикарибской впадине, где коллекторами являются песчаники миоцена и карбонатные породы олигоцена.

На полуострове Гуахира открыты месторождения *Баллена* (на суше), *Чучуна* (в Карибском море) и др. Продуктивны третичные отложения, залегающие на глубине более 2000 м. Общие запасы газа их превышают 110 млрд. м^3.

Достоверные запасы нефти в стране на начало 1981 г. составляли 73 млн. т и газа – 142 млрд. м^3, а добыча их в 1980 г. соответственно – 6,2 млн. т и 3,2 млрд. м^3.

К третичным отложениям приурочены нефтяные месторождения П е р у, бóльшая часть которых расположена в Притихоокеанской впадине. Нефть добывается здесь главным образом из песков и песчаников эоцена, в значительной степени дислоцированных. Они залегают на глубинах от 60 до 500 м, редко глубже. Добыча нефти в 1980 г. составила 10,3 млн. т и газа – 1,1 млрд. м^3. Достоверные запасы нефти составляли 89 млн. т и газа – 35 млрд. м^3. Небольшая часть их заключена в карбонатных породах мелового возраста.

К Притихоокеанской впадине (полуостров Санта-Елена) приурочены также месторождения нефти Э к в а д о р а. По геологическому строению и характеру нефтеносности они сходны с месторождениями Перу. Разведанные запасы нефти составляют всего 148 млн. т и газа – 115 млрд. м^3; годовая добыча нефти 10,8 млн. т и газа – 80 млн. м^3.

В пределах Южной Америки нефтеносные третичные отложения известны также в Ч и л и и Б о л и в и и, в месторождениях, где они залегают выше меловых продуктивных горизонтов.

В Б р а з и л и и, в дельте р. Амазонки открыто крупное месторождение газа. Газоносны песчаники плиоцена, залегающие на глубине 2925–2953 м. Здесь же открыт ряд других месторождений; достоверные запасы природного газа оцениваются в 53 млрд. м^3. В результате проведенных в последнее время геологоразведочных работ в Южной Америке определился новый нефтегазоносный бассейн *Мараньон*, протягивающийся из Бразилии в Колумбию через Эквадор и Перу. Продуктивны третичные отложения.

В Азии значительные ресурсы нефти и газа сосредоточены в третичных отложениях Месопотамской предгорной впадины, включающей юго-западную часть Ирана, северную часть Ирака и юго-восточную часть Турции. Основные продуктивные горизонты приурочены к кавернозным и трещиноватым известнякам асмарийской свиты (олигоцен – нижний миоцен), собранным в пологие складки. Покрывающие их пластичные гипсоносные глинистые породы нижнего фарса (миоцен) залегают несогласно и характеризуются сложной мелкой складчатостью. Часто ин-

тенсивная трещиноватость карбонатных коллекторов обусловливает повышенные притоки нефти в скважины. Здесь расположены крупнейшие месторождения нефти, которые отличаются исключительно высокой продуктивностью (среднесуточный дебит скважин превышает 1000 т нефти). Все эти месторождения относятся к структурному типу и приурочены к локальным антиклинальным складкам.

Крупным месторождением И р а н а, по-видимому, является *Ахваз*, продуктивные отложения которого залегают на глубине 1881–2743 м. Начальные запасы его оцениваются в 1859 млн. т. Сходным по возрасту и условиям залегания представляется месторождение Марун, асмарийские продуктивные отложения которого залегают на глубине 2225–2438 м и заключают 1500 млн. т начальных запасов нефти.

Крупнейшие запасы нефти и газа сосредоточены в комплексном месторождении *Пазана*, асмарийские продуктивные отложения которого залегают на глубине 762–975 м. Начальные их запасы нефти оцениваются в 500 млн. т и газа – в 1415 млрд. м^3.

Наиболее высокопродуктивное месторождение нефти *Ага-Джари* (рис. 99) приурочено к брахиантиклинальной складке длиной 30 км при ширине 6,5 км. Продуктивные горизонты, представленные асмарийскими известняками общей мощностью 250 м, залегают в интервале от 1281 до 3353 м. О высокой продуктивности этого месторождения можно судить и по тому, что среднесуточная добыча на нем в 1958 г. достигла 65 тыс. т нефти при 24 эксплуатационных скважинах. С 1945 г. на месторождении добыто около 1000 млн. т нефти. Начальные его запасы нефти оцениваются в 1350 млн. т.

Сходными с месторождением Ага-Джари геологическим строением, возрастом, условиями залегания и продуктивностью нефтеносных горизонтов характеризуется месторождение *Хафт-Кель*. Продуктивные горизонты залегают на глубинах 580–2000 м, а иногда и глубже. В 1958 г. на месторождении находилось в эксплуатации всего 20 скважин, которые обеспечили среднесуточную добычу 19,3 тыс. т.

К толще асмарийских известняков приурочены основные продуктивные горизонты и месторождения *Месджид-и-Сулейман* (рис. 100), где они залегают на глубинах от 300–350 м (на своде складки) до 1200 м, а иногда и глубже (на крыльях) при средней мощности около 300 м. Размеры месторождения те же, что и для Ага-Джари: протяженность антиклинальной структуры 30 км при ширине 6 км. В аналогичных геологических условиях находится и ряд других крупных месторождений – *Гач-Саран* (начальные запасы нефти 1300 млн. т), *Бибихакимех* (1043 млн. т) и менее крупные месторождения Ирана в Месопотамской впадине.

Известны также газоконденсатные месторождения, продуктивные горизонты которых приурочены к асмарийским известнякам.

В целом по Ирану в 1960 г. в эксплуатации находилось 124 скважины со среднесуточной добычей нефти 1148,9 т на одну скважину, соответственно в 1980 г. – 547 и 425,7 т. В одной из скважин из асмарийских

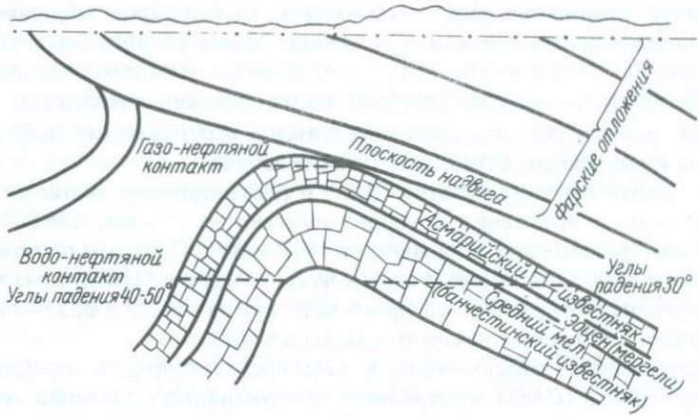


Рис. 99. Разрез месторождения Ага-Джари

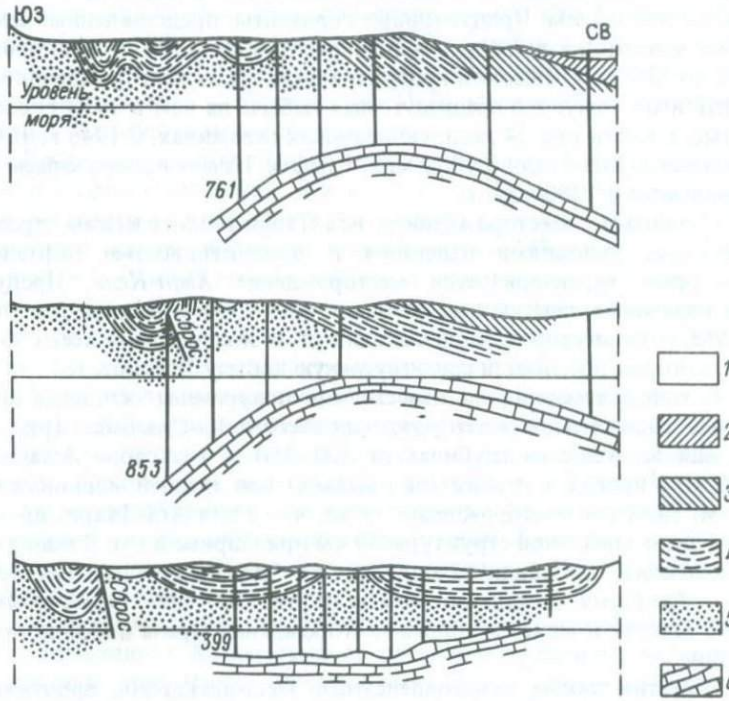


Рис. 100. Разрезы месторождения Месджид-и-Сулейман в Иране:

1 – аллювий; *2* – верхний фарс; *3* – средний фарс; *4, 5* – нижний фарс: *4* – глинистая свита, *5* – песчаная свита; *6* – известняки асмари

известняков в 1956 г. получен фонтан с дебитом 10 тыс. т нефти и до 5,5 млн. м^3 газа в сутки.

Добыча нефти в Иране снизилась с 295,1 млн. т в 1976 г. до 83 млн. т в 1980 г. и газа с 17,6 млрд. до 8,3 млрд. м^3; достоверные запасы нефти за эти годы сократились с 7917 млн. до 5363 млн. т, а запасы газа сохранились в объеме 11 трлн. м^3.

Третичные месторождения нефти Месопотамской впадины, расположенные в северной части И р а к а, приурочены к карбонатной толще, которая носит здесь название „главного известняка", или кальхур, и является возрастным аналогом асмарийских известняков. Так же, как и в Западном Иране, месторождения приурочены к локальным антиклинальным структурам и отличаются высокой продуктивностью. Одно из крупнейших в мире месторождений *Киркук* (рис. 101) сложено известняками нижнего миоцена – олигоцена и эоцена, которые образуют антиклинальную складку длиной 100 км и шириной около 4 км. Глубина продуктивных горизонтов колеблется от 853 до 1280 м при общей мощности продуктивной толщи кальхур около 300 м. Месторождение открыто в 1927 г., и к 1978 г. суммарная добыча нефти на нем достигла 1150 млн. т. Первоначально извлекаемые запасы нефти месторождения превышали 2000 млн. т.

К третичным отложениям приурочены почти все нефтяные месторождения стран Юго-Восточной Азии. Наиболее крупные ресурсы нефти находятся в недрах И н д о н е з и и, где разведанные запасы ее составляют 1,36 млрд. т. Коллекторами нефти служат песчаники, залегающие на глубинах от 700 до 1200 м. На о. Суматра известно около 80 нефтяных месторождений, приуроченных к локальным брахиантиклинальным или куполовидным складкам, обычно разбитым дизъюнктивными нарушениями на ряд блоков. В них насчитывается до 14 продуктивных го-

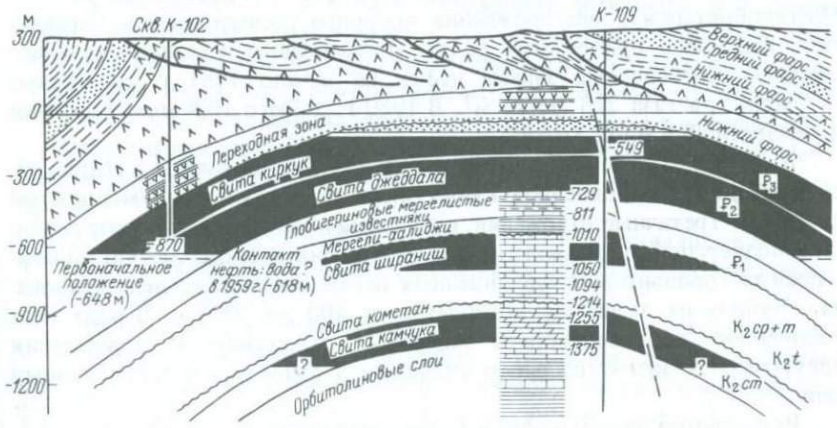


Рис. 101. **Разрез месторождения Киркук** *(по А. А. Бакулову)*

ризонтов, представленных песчаниками верхнего и нижнего миоцена. Глубина их залегания колеблется от 40 до 200 м. В северной части острова продуктивны песчаники свиты каупатонг (плиоцен). Среди известных здесь месторождений газа наиболее крупным представляется месторождение *Арун*, начальные запасы которого оцениваются в 425 млрд. м^3.

На островах Ява и Мадура нефтяные месторождения также приурочены к локальным структурам, в которых продуктивны преимущественно глауконитовые песчаники верхнего миоцена, мергели и аргиллиты плиоцена, а на о.Мадура, кроме того, песчанистые глины нижнего миоцена. Залежи нефти расположены на глубинах от 200 до 1200 м.

Нефтеносные отложения Восточного Калимантана представлены песчаниками палеогена, верхнего миоцена и нижнего плиоцена, залегающими на глубинах от 750 до 1250 м. В бассейне р. Барито нефтеносность установлена также в эоценовых отложениях.

В Западном Иране на месторождении *Кссим* продуктивны доломиты миоцена, залегающие на глубине 1040–1062 м.

К отложениям миоцена приурочены все известные месторождения нефти, расположенные в западной части о.Новая Гвинея. Продуктивные горизонты месторождений представлены карбонатными породами, залегающими на глубинах от 90 до 1000 м. Свободные дебиты отдельных скважин достигали 360 т/сут. В ряде районов острова установлена нефтеносность плиоценовых отложений.

Много новых месторождений нефти и газа открыто на шельфе Индонезии в 70-х годах. Продуктивные горизонты представлены отложениями миоцена и залегают на глубине до 1000 м. Добыча ведется на морских участках и на суше.

В 1980 г. в Индонезии добыто 78,7 млн. т нефти (при среднесуточной добыче на одну скважину 54,5 т) и произведено 28,7 млрд. м^3 товарного газа, достоверные запасы которого составляют 971 млрд. м^3.

Сравнительно крупными запасами нефти располагает Бруней (Великобритания), месторождения которого расположены в Саравакской впадине и прибрежных водах. Продуктивны песчаники верхнего миоцена. Достоверные запасы нефти на начало 1981 г. составляют 177 млн. т, а газа 218 млрд. м^3. В 1980 г. добыто 10,9 млн. т нефти и произведено 8,9 млрд. м^3 газа.

В Бирме нефтяные месторождения сосредоточены в Иравадийской впадине, выполненной кайнозойскими отложениями мощностью до 16 км. Третичные отложения, собранные в линейно-вытянутые складки и подвергшиеся дизъюнктивным нарушениям, заключают до 50 нефтеносных горизонтов, представленных песчаниками олигоцена и миоцена. Глубина их залегания колеблется от 400 до 2000 м. В ряде мест установлена нефтеносность и эоценовых отложений. Месторождения приурочены к антиклинальным складкам и относятся к структурному типу.

Разведанные запасы нефти в Бирме оцениваются в 5 млн. т. В 1980 г. добыто 1,5 млн. т нефти при среднесуточной добыче на одну скважину 7,7 т.

Нефтеносность третичных отложений установлена также на ряде островов Филиппинского архипелага, но до настоящего времени они слабо изучены и промышленное значение их не ясно. Здесь пробурено лишь несколько сравнительно неглубоких скважин, которые вскрыли нефть в песчаниках и карбонатных отложениях олигоцена и плиоцена.

Небольшие месторождения нефти, приуроченные к карбонатным отложениям миоцена, выявлены у побережья о. Палаван.

К свитам сеуруля и кеутапанга плиоцена относятся продуктивные отложения месторождений нефти, открытых в пределах Малаккского пролива.

В Сиамском заливе у побережья Таиланда в 1977 г. выявлено месторождение природного газа в 180 км от ранее открытого месторождения Дайен. Достоверные его запасы определены в 30 млрд. м^3. Суммарные запасы газа в стране составляют 292 млрд. м^3.

В ряде районов Таиланда широко развиты крупные месторождения нефтеносных сланцев плиоцена и плейстоцена.

В пределах Пакистана нефтегазоносные отложения третичного возраста приурочены к западной части Индо-Гангской предгорной впадины. Нефтеносные горизонты сложены массивными трещиноватыми известняками, песчаниками и мергелями эоцена и глинистыми сланцами, песчаниками и псевдоконгломератами миоцена. На наиболее крупном месторождении *Балкассар*, которое обеспечивало до 75% всей добычи в стране, продуктивные горизонты известняков эоцена залегают на глубине около 2440 м.

В Западном Пакистане известен ряд газовых месторождений, среди которых по запасам газа выделяется месторождение Суи. Продуктивны здесь известняки палеоцена, залегающие на глубине 3200 м. Начальные запасы месторождения оцениваются в 255 млрд. м^3.

Залежи нефти в третичных отложениях выявлены в восточной части Пакистана на глубине около 2400 м. Они расположены в Ассамской нефтегазоносной области, значительная часть которой находится на территории Индии. Здесь известен ряд мелких нефтяных месторождений, в которых коллекторами являются песчаники миоцена и частично олигоцена, залегающие на глубинах от 500 до 3000 м, а иногда и более. Нефтеносные горизонты олигоцена перекрыты мощными угленосными отложениями.

Достоверные запасы нефти на начало 1981 г. оценивались в 65 млн. т и газа 453 млрд. м^3; годовая их добыча составляет соответственно 500 тыс. т и 9,1 млрд. м^3.

При помощи советских специалистов в Индии установлена промышленная нефтеносность третичных отложений впадины Камбей, расположенной в западной краевой части погружения Индийской платформы. Нефть обнаружена в песчаниках на глубине около 2000 м.

Месторождения нефти открыты и освоены промышленностью и в других районах страны. На начало 1981 г. достоверные запасы нефти

достигли 334 млн. т и газа 270 млрд. м^3. В 1980 г. добыча нефти составила 9,6 млн. т и газа – 1,5 млрд. м^3.

Промышленные залежи нефти и газа выявлены в северной части А ф г а н и с т а н а. Продуктивные горизонты, приуроченные к третичным отложениям, залегают на глубине 600–1600 м. Достоверные запасы газа составляют 60 млрд. м^3, а годовая его добыча – 3 млрд. м^3.

К отложениям плиоцена и миоцена относятся нефтяные месторождения Я п о н и и, число которых достигает 60. Около 98% добычи нефти в стране дают месторождения северо-западной части о.Хонсю. Нефтеносные горизонты залегают на глубинах от 50 до 2500 м и отличаются весьма низкой продуктивностью. Разведанные запасы нефти в стране оцениваются в 4,0 млн. т, годовая добыча – 0,5 млн. т; соответственно газа 15 млрд. и 2,5 млрд. м^3.

В пределах обширной территории К Н Р третичные нефтеносные отложения установлены в южной части Джунгарской впадины, в западной части Цзюцюаньской впадины и в ряде районов Цайдамской впадины, где эти отложения оказались также газоносными. Во всех обнаруженных месторождениях коллекторами нефти служат песчаники.

Многочисленные месторождения нефти и природного газа третичного возраста разрабатываются в Центральной и Западной Европе.

Месторождения нефти Р у м ы н и и приурочены к предгорной части Восточных и Южных Карпат; наиболее крупные из них расположены северо-западнее и севернее г. Плоешти. Продуктивные горизонты залегают на глубинах от 500 до 2500 м и представлены песчаными и мергелистыми пластами миоцена и плиоцена.

Основные месторождения природного газа расположены в пределах Трансильванской впадины. Месторождения газа известны также в Прикарпатье.

В П о л ь ш е эксплуатируемые месторождения нефти и газа расположены в предгорной части Восточных Карпат, которая примыкает к нефтегазоносному району Западной Украины. Коллекторами являются третичные песчаники. Наряду с нефтегазоносными залежами имеются месторождения свободного газа.

На территории Ч е х о с л о в а к и и месторождения нефти третичного возраста известны в предгорьях Восточных Карпат, а также в северной части Венского бассейна вблизи границы с Австрией.

К Венскому бассейну приурочены также все промышленные месторождения нефти в А в с т р и и. В наиболее крупных месторождениях насчитывается до 10 продуктивных пластов позднетретичного возраста. Годовая добыча нефти в Австрии в 1980 г. составила 1,4 млн. т при среднесуточном дебите скважин 3,8 т; достоверные запасы нефти составляют 17 млн. т.

Ряд небольших промышленных месторождений нефти и газа третичного возраста разрабатывается в В е н г р и и и Ю г о с л а в и и. Годовая добыча нефти в Венгрии составляет примерно 1 млн.т, а в Югославии 2,5 млн. т и более 600 тыс. м^3 газа.

К отложениям верхнего миоцена, залегающим на глубинах от 500 до 900 м, приурочены небольшие месторождения нефти в А л б а н и и.

В ФРГ месторождения нефти и газа в отложениях третичного возраста (рупельский и латторфский ярусы олигоцена) разрабатываются в Баварии. За последние годы здесь открыт и разведан ряд новых газовых месторождений, что позволило довести в 1979 г. производство товарного газа в стране до 20,4 млрд. м^3; в 1980 г. оно снизилось до 18,7 млрд. м^3. Добыча нефти снизилась с 5,7 млн. т в 1975 г. до 4,5 млн. т в 1980 г.; разрабатываются в основном месторождения мезозоя.

В Италии, в долине р. По, разрабатываются сравнительно крупные существенно газовые месторождения, иногда содержащие и конденсат. Добыча газа за последнее время резко возросла и в 1980 г. достигла 13,5 млрд. м^3. Продуктивны здесь отложения верхнего миоцена – нижнего плиоцена. Сравнительно недавно в Италии открыт ряд небольших месторождений нефти, продуктивные горизонты которых представлены известняками миоцена. В 11 км к северу от Венеции они залегают на глубине 1510 м. В Сицилии мелкие месторождения газа залегают в третичных отложениях.

Основные месторождения нефти третичного возраста расположены в бассейне р. По (Паданская низменность), где продуктивность их также связана с отложениями миоцен-плиоцена. В последнее время ряд месторождений нефти выявлен в акватории Адриатического моря. С учетом разрабатываемых месторождений мезозоя общая добыча нефти в стране в 1980 г. составила 1,9 млн. т, а производство товарного газа – 12,5 млрд. м^3; достоверные запасы нефти оцениваются в 49 млн. т и газа в 171 млрд. м^3.

В Британском секторе Северного моря разведано месторождение *Фортиз*, приуроченное к песчаникам палеоцена. Начальные запасы нефти его оцениваются в 450–600 млн. т. В Норвежском секторе с песчаниками палеоцена связано месторождение *Флайндр*, расположенное вблизи мезозойского месторождения Экофиск.

На границе территориальных вод Великобритании и Норвегии разведано самое крупное газовое месторождение *Фригг*, открытое в 1972 г. на глубине моря около 100 м. Его доказанные запасы оцениваются в 283 млрд. м^3. Газ приурочен к песчаникам эоценового возраста мощностью 120 м, залегающим на глубине 1900–2100 м. Здесь же расположена группа более мелких газовых месторождений: *Хеймдал, Юго-Восточный Фригг, Восточный Фригг, Северо-Восточный Фригг и Один.*

В шельфе Эгейского моря выявлены нефтяные и газоконденсатные месторождения, приуроченные к песчаникам среднего миоцена.

В Африке наиболее значительные запасы нефти и газа кайнозойского возраста сосредоточены в Нигерии, где продуктивными являются третичные и верхнемеловые отложения, залегающие на глубине от 2000 до 3250 м. Достоверные их запасы на начало 1982 г. составляли 1489 млн. т нефти, а добыча ее возросла с 88,4 млн. т в 1975 г. до 103 млн. т в 1980 г. Запасы газа оценивались в 1455 млрд. м^3, и производство его за эти годы увеличилось с 0,4 до 1,1 млрд. м^3.

Широкие проявления нефтегазоносности установлены в третичных

отложениях Л и в и и. Ряд месторождений открыт к юго-западу от Бенгази. Среди них наиболее крупным является нефтегазовое месторождение *Нассер (Целтен, Зельтен)*, начальные запасы которого ориентировочно оцениваются в 2,0 млрд. т нефти и 1350 млрд. м^3 газа. Продуктивные горизонты здесь представлены кавернозными известниками палеогена и известняками верхнего мела, залегающими на глубине 1750–1900 м. Ряд месторождений, приуроченных к отложениям эоцена, выявлен в бассейне Сирт.

В Г а б о н е нефть добывается из трещиноватых кремнистых сланцев нижнего эоцена, мощность которых в отдельных месторождениях колеблется от 15 до 18 м.

В последнее время в К о н г о открыто месторождение *Эмерауд-Мэрин*, приуроченное к песчаникам эоцена, залегающим на глубине 1676–2500 м. Начальные запасы нефти, по разным источникам, оцениваются от 500 до 1000 млн. т. Достоверные запасы нефти в стране составляют 95 млн. т, а добыча ее в 1980 г. достигла 3,5 млн. т.

Открыто два месторождения нефти у побережья Т у н и с а. Продуктивны песчаники миоцена, залегающие на глубинах 636–732 и 1950–1980 м.

В озере Киву сосредоточены запасы метана (растворенного в воде), оцениваемые в 50 млрд. м^3. Заир и Руанда намеревались совместно вести разработку этого месторождения.

В А в с т р а л и и ряд газовых месторождений выявлен и освоен у северо-западного побережья в шельфе Индийского океана (Гудвин и др.). Достоверные запасы газа оцениваются в 340 млрд. м^3. На месторождении *Барракута*, расположенном в Бассовом проливе, газоносны песчаники лэтроуб-валли (эоцен-палеоцен). Начальные запасы газа оценивались в 100 млрд. м^3.

К кайнозою относится месторождение *Маун*, расположенное в Таранакской бухте (Новая Зеландия). Продуктивны отложения эоцена; начальные запасы газа оценивались в 238 млрд. м^3.

В С С С Р месторождения нефти и газа третичного возраста играют существенную роль в общих ресурсах. Нефтегазоносные отложения третичного возраста, имеющие промышленное значение, известны в юго-западных и южных районах страны, а также на Сахалине.

Старейший нефте- и газодобывающий район, продуктивные отложения которого относятся к третичному возрасту, расположен в *Западной Украине*. Газовые и нефтяные месторождения этого района располагаются на различных стратиграфических уровнях. Обычно газовые залежи приурочены к отложениям среднего миоцена (тортон), а нефтяные – к отложениям олигоцена, к так называемой менилитовой серии.

Многочисленные залежи нефти и особенно газа, связанные с третичными отложениями, распространены в районах Предкавказья. В пределах *Средне-Каспийского* бассейна нефтегазоносны терригенные отложения олигоцена и нижнего миоцена. Небольшие скопления газа известны и в среднемиоценовых отложениях. Наиболее крупные месторождения газа в Ставрополе приурочены к нижнеолигоценовой толще, представ-

ленной перемежающимися песчаными, алевритовыми и глинистыми породами. Газоносны в этих месторождениях также залегающие ниже песчано-алевритовые отложения эоцен-палеоцена. В Ставропольском крае известны также газоконденсатные месторождения. В *Азово-Кубанском* бассейне основные нефтегазоносные горизонты приурочены к песчано-глинистым отложениям палеогена и среднего миоцена. Реже залежи нефти и газа встречаются в терригенных отложениях верхнего миоцена.

Месторождения газа *Северного Кавказа* имеют народнохозяйственное значение. Они являлись до последних лет важнейшим источником газоснабжения Москвы и других промышленных центров.

Скопления нефти и газа третичного возраста находятся в области юго-восточного погружения Главного Кавказского хребта *(Апшеронский полуостров, Кобыстан)*. Основные ресурсы нефти и газа сосредоточены в терригенных отложениях так называемой „продуктивной свиты", которая примерно соответствует среднему плиоцену. Продуктивная толща подстилается отложениями понтического яруса (нижний плиоцен), диатомовых слоев и чокракского горизонта (верхний и средний миоцен), майкопской свиты (нижний миоцен – олигоцен), коунской толщи и сумгаитской свиты (эоцен и палеоцен) и верхнего мела. Выше продуктивной толщи залегают глинистые и карбонатные отложения акчагыльского и апшеронского ярусов верхнего плиоцена общей мощностью около 1000 м, создающие хорошую покрышку для сохранения залежей нефти и газа.

Состав терригенных отложений продуктивной толщи весьма изменчив; содержание в них песков, алевритов, грубообломочных и глинистых отложений в отдельных районах сильно колеблется. Нефть и газ содержатся также в отложениях майкопской серии, апшеронского яруса, диатомовых и чокракских слоев, а также в отложениях сарматского яруса. На долю „продуктивной свиты" приходится около 90% нефти и почти 100% газа, добываемых в этом нефтегазоносном районе.

Более 20 месторождений нефти и газа открыто в акватории Каспийского моря. Бóльшая часть их расположена у западного побережья Каспия. К востоку от Апшеронского полуострова расположено одно из старейших месторождений Каспийского моря – *Нефтяные Камни.* У берегов Дагестана открыто нефтяное месторождение *Инчхе-море.* А у противоположного восточного берега Каспийского моря вблизи Туркмении открыт ряд газовых и газоконденсатных месторождений: банки Ливанова, Жданова и Губкина.

Многочисленные месторождения нефти расположены на обширной территории Закаспийской низменности в пределах *Прибалханского нефтегазоносного* района юго-западной Туркмении. Здесь нефтегазоносны отложения красноцветной толщи плиоцена, а также акчагыльского и апшеронского ярусов. Все месторождения содержат, помимо нефти, растворенный газ. В *Кызылкумах* известны также месторождения свободного газа, в которых продуктивные пласты залегают в низах песчано-глинистых отложений акчагыла выше кровли красноцветной толщи.

Промышленной нефтеносностью отличаются отложения палеогена и неогена *Ферганского* района. С нефтеносными залежами связан растворенный газ, а также скопления газа в сводовых частях структур. К отложениям палеогена приурочены основные продуктивные горизонты нефтяных месторождений *Сурхан-Дарьинского* района Узбекистана, *Вахшского* района Таджикистана, а также месторождения Киргизии.

На *о. Сахалин* основные продуктивные комплексы – песчано-глинистые отложения окобыкайской и дагинской свит миоцена и нутовской свиты плиоцена. Нефтяные и газовые месторождения выявлены на Северном и Южном Сахалине. Большинство из них являются многопластовыми.

УГОЛЬ

Месторождения углей третичного возраста широко распространены во многих странах, но удельный вес их в мировых разведанных запасах и добыче по сравнению с более древними углями незначителен. Бóльшая часть этих углей представлена бурыми углями или лигнитами. Наиболее крупные запасы их сосредоточены в Европе, особенно на территории ФРГ и ГДР. Эти республики занимают также первое место в мире по добыче бурых углей.

В пределах Ф Р Г известны три крупных района распространения третичных (от эоцена до плиоцена) углей: Западно-Германский, Южно-Германский и частично Средне-Германский. Месторождения обычно заключают от одного до трех пластов бурых углей, мощность которых в ряде случаев достигает нескольких десятков метров. Достоверные и вероятные запасы углей составляют 60 млрд. т (в том числе 50 млрд. т в Рейнском бассейне), годовая добыча – около 130 млн. т (90 млн. т).

Вскрышные работы производятся на месторождении *Хеймбах* вблизи границы с Бельгией, на котором суммарная добыча лигнитов оценивается в 2,5 млрд. т при годовой добыче 20 млн. т. Лигниты предназначены для производства синтетического газа. Капиталовложения в начальную стадию проекта определены в 5 млрд. марок и в завершающую – еще 6 млрд. Такие крупные затраты обусловлены необходимостью восстановления отработанных земель и высоким коэффициентом вскрыши (6:1). Пустую породу предусматривается использовать для засыпки трех старых рудников и сооружения искусственного холма. После выемки лигнитов останется резервуар глубиной 300 м и площадью более 23 км^2, который предполагается наполнить водой (с помощью тоннеля из Рейна) и использовать как водохранилище.

В Г Д Р буроугольные бассейны третичного возраста (Магдебургский, Саксоно-Тюрингенский, Нижнелаузицкий) располагаются в центральной и юго-восточной частях страны. Мощность угольных пластов колеблется от 2–7 до 70–100 м. Запасы углей, по разным источникам, оцениваются в 30–50 млрд. т. Теплота сгорания их колеблется от 1800 до 3000 ккал/кг при содержании золы от 4 до 10%. Добыча бурого угля превышает 200 млн. т в год.

В разных пунктах ГДР и ФРГ, особенно в районах Баварской предальпийской зоны, Бадена и Вюртемберга, встречаются бурые угли четвертичного возраста, обычно приуроченные к межледниковым толщам. Месторождения, как правило, отличаются мелкими размерами, но среди них встречаются и сравнительно мощные пласты угля, залегающие близко к дневной поверхности и в связи с этим рентабельно разрабатываемые открытым способом. Угли содержат до 7–12% золы и до 50% влаги.

Кроме ГДР, значительными месторождениями бурого угля располагают и другие европейские страны народной демократии.

В Польше третичные угленосные отложения широко распространены на территории Познанского, Быдгощского, Вроцлавского и Зеленогурского воеводств, а также близ Варшавы. Самым крупным месторождением является *Туров*. Годовая добыча бурых углей в Польше в 1977 г. составила 9,3 млн. т, достоверные запасы их составляют около 2 млрд. т.

В Чехословакии третичные угленосные отложения (олигоцен – миоцен) пользуются почти повсеместным распространением, но промышленные месторождения встречаются сравнительно редко. Мощность угленосных отложений колеблется от 200 до 400 м при мощности пластов угля от 4 до 40 м. Теплота сгорания углей находится в пределах 3000–4900 ккал/кг. Наиболее крупными бассейнами являются *Мостецкий, Фалькновский, Гандловский* и *Хебская мульда*. Достоверные запасы бурых углей составляют 5765 млн. т, лигнитов 780 млн. т. Добыча бурых углей в 1977 г. достигла почти 55 млн. т.

В Болгарии угленосные отложения относятся к олигоцен-эоценовому возрасту и развиты преимущественно в южной и юго-западной частях страны. Наиболее широким распространением пользуются лигниты, разведанные запасы которых превышают 3 млрд. т. От бурых углей они отличаются более низкой теплотой сгорания, которая колеблется от 1100 до 1900 ккал/кг при зольности 31–36%. Добыча углей в 1977 г. составила 25 млн. т.

Третичные бурые угли Румынии сосредоточены главным образом в бассейне *Петрошени*, где общая мощность угленосной свиты составляет 300 м. Свита заключает 12 пластов преимущественно каменных длиннопламенных углей. Теплота сгорания их достигает 6800 ккал/кг при зольности 16–51%. В Румынии известны также значительные разведанные запасы лигнитов (8 млрд. т). Добыча бурых углей и лигнитов в 1977 г. составила 26 млн. т.

В Венгрии разрабатываются бурые угли эоценового и неогенового возраста. Пласты углей отличаются значительной мощностью (от 4 до 30 м). Теплота сгорания углей колеблется в пределах 5600–5900 ккал/кг. Общие запасы углей оцениваются в 2,8 млрд. т. Годовая добыча бурых углей и лигнитов составляет 25 млн. т.

Бурые угли миоценового возраста разрабатываются также в Югославии. В наиболее крупном *Дравско-Савском* бассейне, расположенном к западу от г. Любезна, в 1977 г. добыто 39 млн. т угля.

Угли третичного возраста известны и частично разрабатываются и в других европейских странах. Их них следует отметить Норвегию, где третичные угленосные толщи Шпицбергена содержат преимущественно газовые угли, частью хорошо коксующиеся. Высоким качеством отличаются третичные угли и лигниты Италии. Теплота сгорания углей составляет 5500–7200 ккал/кг, лигнитов 2000–3500 ккал/кг. Мощность пластов углей достигает 6 м, лигнитов 30 м.

Широко распространены третичные угли в Северной Америке, где они занимают огромные площади и часто слагают верхние горизонты в бассейнах с более древними угленосными отложениями. Почти все они приурочены к платформенным областям и представлены бурыми или полубитуминозными углями и лигнитами. Иногда, например, в долине Бир Ривер (Канада), среди углей третичного возраста встречаются коксующиеся разности. Весьма значительные ресурсы углей от бурых до битуминозных преимущественно эоценового возраста сосредоточены на Аляске. Геологические запасы их оцениваются в 100 млрд. т, из которых около 75 млрд. т – бурых.

Общие геологические запасы лигнитов в США оцениваются в 406 млрд. т, из которых более половины сосредоточено в бассейне *Паудер*, расположенном в штатах Северная Дакота, Монтана и Вайоминг. Пласты углей мощностью 1,5–6,5 м в ряде мест выходят на поверхность; на их базе предусматривается создание системы электростанций общей мощностью 53 млн. кВт. Лигнитоносные отложения занимают около 40% территории штата Северная Дакота, геологические запасы лигнитов которого оцениваются в 318 млрд. т. Помимо бассейна Паудер, здесь известен еще ряд месторождений малосернистых, низкозольных (5–8%) углей, часть которых (примерно 30 млрд. т) пригодна для открытой добычи. На базе разведанных залежей лигнитов с запасами 4 млрд. т предусматривалось для их газификации создание 20 заводов мощностью по 7,1 тыс. м^3 газа в сутки.

В Южной Америки известны месторождения бурых углей третичного возраста, которые в некоторых странах, главным образом в Колумбии и Аргентине, разрабатываются в небольших объемах. В Бразилии открыт бассейн *Алта-Амазона* с общими запасами бурого угля 2000 млн. т.

Значительные площади распространения третичных угленосных отложений известны в Австралии. Наиболее крупные месторождения расположены около г. Мельбурна, где угленосные отложения преимущественно миоценового и плиоценового возраста заключают семь пластов бурого угля суммарной мощностью до 240 м. Общие запасы их превышают 40 млрд. т. Добыча в 1980 г. достигла 33 млн. т.

Третичные угли известны во многих странах Азии, в том числе в Японии, КНР, КНДР, Индонезии, Бирме, Индии, Пакистане, Гурции. Месторождения обычно мелкие, представлены бурыми углями и лигнитами и слабо осваиваются промышленностью.

Наиболее метаморфизованы угли Японии, где разрабатываются в основном газовые разности со средней степенью углефикации. Часть

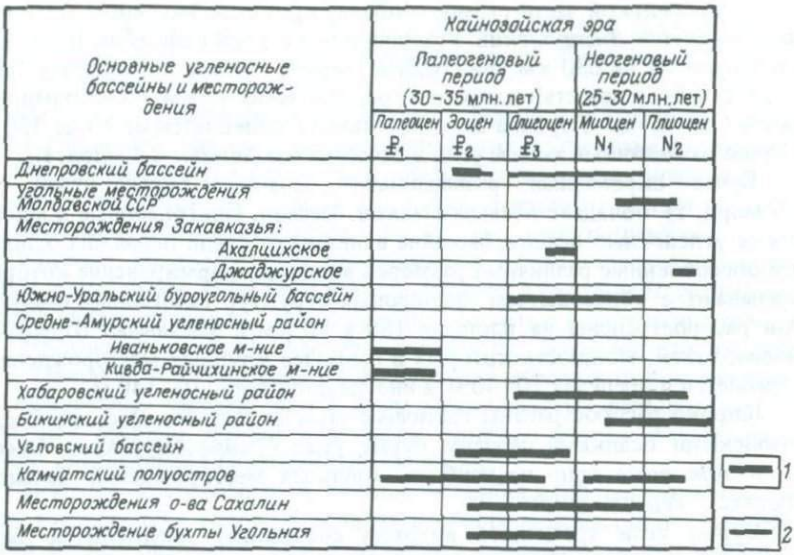


Рис. 102. **Возраст и продолжительность углеобразования в основных кайнозойских бассейнах и месторождениях СССР** *(по А. К. Матвееву)*:

1 – основные угленосные горизонты; *2* – второстепенные и непромышленные угленосные горизонты

из них пригодна для производства кокса. Самые крупные месторождения расположены на островах Хоккайдо и Кюсю. На о. Хоккайдо по запасам (6 млрд. т) выделяется бассейн *Исикари* с каменными углями палеогенового возраста. Общие запасы углей Японии оцениваются в 9,1 млрд. т, и почти все они заключены в месторождениях третичного возраста. Угленосные толщи обычно интенсивно дислоцированы, прорваны интрузивными породами, а угли часто характеризуются высоким содержанием серы, местами достигающим 3%.

В КНР большой практический интерес представляет *Фушуньское* месторождение каменных углей, приуроченное к отложениям палеогена. Среди известных здесь пластов угля выделяется главный пласт, мощность которого местами превышает 50 м. Угли отличаются высоким качеством, и часть из них пригодна для коксования. Месторождение интенсивно разрабатывается открытым способом.

Сравнительно хорошим качеством характеризуются палеогеновые каменные и суббитуминозные угли, развитые на Суматре и Калимантане. Уровень добычи их определяется внутренними потребностями и в последние годы составляет 300 тыс. т. Общие запасы угля – 2,5 млрд. т.

В пределах СССР кайнозойские угленосные отложения распространены во многих районах, но удельный вес их в общих геологических запасах страны составляет около 5% (рис. 102).

В европейской части страны наиболее крупным бассейном этого возраста является *Днепровский*. Угленосные отложения бассейна протягиваются полосой на 680 км при средней ширине 150 км и заключают один пласт углей, мощность которого в среднем равна 4–5 м, но местами возрастает до 25 м. Глубина залегания пласта колеблется от 10 до 150 м. Только разведанные запасы угля в бассейне составляют 2,4 млрд. т.

Более скромными разведанными запасами бурых углей (до 1,6 млрд. т) обладает *Южноуральский* бассейн. Олигоценовые и миоценовые угленосные осадки бассейна выполняют среди пермских отложений обособленные различных размеров впадины, формирование которых связывают с образованием диапировых структур галогенных осадков. Они распространены на площади 180 х 70 км и заключают отдельные залежи углей, мощность которых в наиболее крупных месторождениях колеблется в пределах 10–40 м, а иногда достигает 110–140 м.

Широко распространены третичные угли на Дальнем Востоке. С кайнозойскими осадками связаны бурые угли *Средне-Амурского* бассейна, в том числе одно из наиболее крупных месторождений Дальнего Востока – *Райчихинское*.

Бурые угли третичного возраста составляют значительную часть угольных ресурсов Приморья, где по запасам и добыче выделяется *Угловский* угольный бассейн.

Значительные ресурсы третичных углей заключены в месторождениях о. Сахалин, где на отдельных месторождениях количество пластов рабочей мощности достигает 37 при суммарной мощности до 60–70 м. Встречаются пласты мощностью до 20 м. Угли относятся к типу гумусовых. Наиболее распространены бурые и длиннопламенные разности угля. Геологические запасы их определены в 17 млрд. т.

Широко распространены третичные угли в пределах *Ленского* угленосного бассейна. Здесь угленосная толща миоценового возраста мощностью 250–300 м содержит от 10 до 15 пластов угля простого, а иногда и сложного строения. Мощность пластов колеблется от 0,5 до 15–26 м, но обычно составляет 3–4 м.

УРАН

Среди месторождений урана кайнозойского возраста главное значение имеют ураноносные регионы С Ш А, расположенные в штатах Вайоминг и Техас; их запасы в настоящее время составляют примерно 40% запасов страны – более 200 тыс. т U_3O_8; интенсивные поисковые работы здесь продолжаются.

Урановое оруденение Вайоминга на 98% сосредоточено в породах раннего эоцена, представленных средне- и грубозернистыми сероцветными аркозовыми песчаниками, сформированными в континентальных условиях за счет выветривания гранитных массивов, окружающих впадины. Рудные тела имеют форму серповидных в сечении залежей или пластообразных тел, являющихся их крыльями. Залежи крупнейшего месторождения *Шерли-Бейсин* достигают 4–5 км в длину и ширину при

расстоянии между крыльями 13–35 км. Запасы руды в залежах колеблются от сотен до нескольких миллионов тонн. Содержание U_3O_8 – 0,1–1% при среднем 0,19–0,24%.

Из урановых минералов установлены уранинит и коффинит; окисленные руды включают водные карбонаты и силикаты урана и ванадия.

По данным изотопного метода, абсолютный возраст урановых минералов колеблется от 13 млн. лет до современного; таким образом, формирование руд продолжается вплоть до настоящего времени.

Крупные месторождения, приуроченные к раннеэоценовым аргиллитам и алевритам, выявлены в 1966–1968 гг. в бассейне *Паудер-Ривер*. Рудные залежи располагаются на границе красных и бурых разностей.

Месторождения *Крукс-Гэп, Ред-Дезерт* и ряд более мелких находятся в северной части бассейна Грейт-Дивайд. Третичные отложения здесь деформированы сильнее, чем в ранее рассмотренных районах; рудные тела, как правило, невелики и имеют сложную форму. Запасы урана района определяются первыми тысячами тонн.

Значение месторождений Техасской прибрежной равнины выяснилось к концу 60-х годов, и доля их в общих перспективных ресурсах урана страны оценена в 19%. Оруденение преимущественно приурочено к формации уитсетт эоценового возраста и развивается в основном в туфогенных песчаниках и туфах, ассоциируя с углефицированными остатками растений. Рудные тела, как правило, имеют неправильную форму и локализуются вдоль разломов. Более 90% руд представлено сажистыми оксидами урана и коффинитом.

Минерализация, установленная на нескольких разобщенных участках, считается аналогом месторождений Вайоминга; особенностью является нередко наблюдаемая связь с нефтегазоносными структурами. Возможно, концентрация урана в породах повышалась при его осаждении из растворов в восстановительных условиях, возникших вдоль сбросов и трещин при проникновении газов из нижележащих нефтегазоносных отложений.

Существенные ресурсы урана заключены в фосфоритных месторождениях полуострова Флорида. Урановая минерализация установлена здесь в фосфоритоносных галечниках свиты бон-велли (плиоцен), распространенных на площади около 6,5 тыс. км^2. Наибольшей концентрацией урана отличается алюмофосфатная зона, в пределах которой в результате выветривания первичный кальциевый фторапатит нацело превращен в фосфат алюминия. Уран целиком концентрируется в фосфатных гальках, где содержание его достигает десятых долей процента при среднем содержании в алюмофосфатной зоне 0,01–0,02%. Мощность этой зоны составляет в среднем 1,8–2,0 м, а запасы руд превышают 800 млн. т. В других отложениях свиты бон-велли содержание урана колеблется от 0,002 до 0,008%. На ряде предприятий организовано попутное извлечение урана при переработке фосфоритных руд. Полагают, что производство урана из руд Флориды может достичь 500 т в год.

Концентрация урана отмечается также в ряде месторождений кайнозойских углей, расположенных в штатах Южная Дакота, Вайоминг и др.

Содержание в них урана обычно составляет тысячные доли процента и только в отдельных небольших участках повышается до 0,05%.

К кайнозою в США относится большинство сравнительно небольших жильных и штокверковых месторождений. Наиболее крупным из них является месторождение *Мерисвейл* (Юта). Руды залегают в миоценовых риолитовых агломератах и кварцевых монцонитах, образуя сложные жилы и рудные тела неправильной формы штокверков. Урановая смолка внутри рудных тел образует тонкие прожилки и мелкие гнезда, перемежающиеся с флюоритом, иногда она ассоциирует с молибденитом. В зоне окисления установлены отенит, торбернит, метаторбернит и др.

На начало 1981 г. доказанные запасы урана США составляют 400 тыс. т, а добыча его в 1980 г. достигла 14,5 тыс. т в концентрате, или более 45% общего производства в капиталистических и развивающихся странах. В 1975 г. в Техасе вступило в строй первое предприятие по добыче урана методом подземного выщелачивания начальной мощностью 120 т урана в год с дальнейшим увеличением в четыре раза. Готовилось к пуску второе предприятие мощностью 300 т в год; в 1976 г. намечалось ввести в действие предприятие начальной мощностью 70 т с последующим ее доведением до 135 т.

Многочисленные проявления урановой минерализации, связанные с третичным магматизмом, известны в К а н а д е, где они сосредоточены в Скалистых горах, на территории Британской Колумбии и Юкона. Это преимущественно мелкие месторождения, представленные кварцево-полевошпатовыми жилами, которые наряду с другими металлами (молибден, вольфрам, золото) содержат в небольших количествах уранинит. Наиболее крупным месторождением является Рекспар, рудные залежи которого залегают в сланцах и аргиллитах докембрийского (или, возможно, палеозойского) возраста вблизи их контакта с кайнозойскими трахитами. Руды сложены в основном серицитом, пиритом и флюоритом и часто содержат мелкие обломки трахита. Из рудных минералов встречаются настуран и уранаторит, в качестве акцессорных присутствуют циркон, рутил и монацит. Мощность рудных залежей достигает 15 – 18 м; они содержат 0,07–0,1% U_3O_8 и примерно столько же тория.

В М е к с и к е к третичному возрасту относится известное месторождение урана и золота *Гваделупа*, расположенное в 100 км к северо-востоку от г. Чиуауа. Рудные тела жильной формы приурочены к контакту третичных даек андезитового порфира с черными глинистыми сланцами и известняками мелового возраста. Они сложены главным образом кальцитом и небольшим количеством полевого шпата. Рудные минералы представлены настураном, часто образующим псевдоморфозы по пириту, а также пиритом, самородным золотом и магнетитом. В верхних окисленных горизонтах рудных тел развиты лимонит, пиролюзит, карбонаты меди и уранофан, замещающий настуран. В качестве характерной закономерности отмечается, что с увеличением в рудных жилах кварца уменьшается содержание в них урана и повышается содержание золота.

Месторождение характеризуется небольшими размерами. Мощность жил колеблется от нескольких сантиметров до 0,7 м, в верхней части жил иногда достигает 4 м. Абсолютный возраст оруденения, определенный по свинцовому методу, составляет 36 млн. лет.

Широко распространены месторождения урана на территории Аргентины. Они представлены различными генетическими типами и обычно характеризуются небольшими размерами. Преобладают гидротермальные месторождения жильной формы, в рудах которых урановые минералы ассоциируют с сульфидами железа, меди, никеля, свинца, цинка и кобальта. Относительно возраста многих месторождений отсутствуют достоверные данные. Предположительно с третичным вулканизмом связывается образование группы месторождений – Соберания, Президент Перон, Ева Перон – в предгорье Анд, вблизи г. Мендоса. Урановая минерализация приурочена здесь к тектоническим зонам окварцевания в триасовых и третичных отложениях, представленных различными сланцами, пестроцветными глинами, бентонитами, битуминозными породами, песками и конгломератами.

На месторождении *Соберания* зона окварцевания прослеживается на протяжении 1800 м. Первичный урановый минерал – настуран, в зоне окисления развиты шрекингерит и уранофан. Содержание U_3O_8 колеблется от 0,2 до 1,84%.

Урансодержащие кварцевые жилы месторождения *Президент Перон* также приурочены к тектонической зоне в бентонитовых глинах и песчаниках и, кроме кварца, содержат в небольших количествах кальцит, опал и урановую смолку. В зоне окисления наряду с уранофаном и шрекингеритом развиты метаотенит и фосфуранилит, а также гидроксиды марганца, азурит и малахит. Содержание урана в рудах меняется от 0,3 до 0,7%, но мощность жил не превышает нескольких десятков сантиметров. В 30 км к западу от месторождения урановая минерализация установлена в горючих сланцах, отдельные участки которых содержат до 0,05% U_3O_8.

Зона минерализации месторождения *Ева Перон* прослежена на протяжении 2 км. Урановые минералы, представленные преимущественно карнотитом при подчиненном количестве уранинита и тухолита, ассоциируют с пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, борнитом и халькозином. Содержание U_3O_8 в рудных залежах колеблется от 0,3 до 0,7%, Cu – от 2,5 до 4% и V – от 0,1 до 0,2%.

Урановое оруденение, приуроченное к нижнеэоценовым континентальным известковистым песчаникам, залегающим на кристаллическом фундаменте, содержащем многочисленные ураноносные пегматитовые жилы, известно в восточной части урановорудного пояса Аргентины. На месторождении *Родольфо* в пределах 150-метровой пачки выявлено несколько горизонтов с карнотитовой минерализацией мощностью 1–5 м. Оруденение прослеживается в полосе протяженностью более 20 км.

В Бразилии крупные запасы урана сосредоточены в штате Минас-Жерайс в комплексных уран-ториево-ниобиевых рудах карбонати-

товых массивов Араша, Тапира и др., формирование которых относится к интервалу мел – палеоген. В рудах месторождения *Араша* содержания Th и U_3O_8 колеблются от следов до десятых долей процента, а запасы их соответственно составляют 130 и 85 тыс. т. Среднее содержание U_3O_8 в рудах месторождения *Тапира* составляет 0,022 %, а общие его запасы – 9–10 тыс. т.

В качестве попутного компонента уран извлекается из элювиальных бадделеитовых россыпей Бразилии. В торговых сортах циркониевых концентратов, получаемых путем ручного обогащения на разных россыпных месторождениях, среднее содержание ZrO_2 достигает 92% (обычно 68–75%), U_3O_8 0,4% и Th 0,02%. Первичные руды в форме линзообразных залежей, ветвящихся жил и штокверков приурочены к массивам нефелиновых сиенитов (фойяитов и тингуаитов) юрского возраста. Они сложены мелкокристаллической массой циркона. Предполагается, что щелочные растворы выносили циркон, содержащийся в нефелиновых сиенитах, и переотлагали его в трещинах и полостях.

Кроме того, в Бразилии выявлены эпигенетические месторождения в в палеорусловых фракциях пород бассейна р. Парана; наиболее крупное из них – *Фигейра*.

Месторождения урана нового типа, связанные с третичными вулканитами, выявлены во многих районах Кордильер. В Мексике на месторождении *Эль-Меските* урановая минерализация приурочена к эоценовым игнимбритам и агломератам, в которых развиты вкрапленность урановой смолки и вторичные минералы урана, с содержаниями U_3O_8 0,05–0,1%. На месторождении *Лас-Маргаритс* ванадаты урана, сполка и коффинит развиты в полостях выщелачивания туфов.

В Эквадоре в плиоцен-плейстоценовых риолитовых туфах и игнимбритах выявлено месторождение *Кумбе*. Большими перспективами обладает месторождение *Тамбо-Кемадо* в Перу, где урановая минерализация приурочена к контакту миоценовых риолитовых туфов и верхнемеловых песчаников.

Месторождения сходных типов *Баульес, Котае, Тхолапалька, Амистад* известны в Боливии; содержание U_3O_8 на месторождении *Лос-Реюнос* (Аргентина) составляет 0,12%.

В Намибии близ г. Свакопмунд (в районе Зейнрих) разведано месторождение, связанное с калькретами; запасы урана оцениваются в 45 тыс. т при содержании его в рудах 0,076%. Намечалось строительство предприятия производительностью 3 тыс. т урана в год.

В Северной Африке значительные ресурсы урана заключены в месторождениях фосфоритов Марокко, Алжира и Туниса, формирование которых происходило в конце мела и в начале эоцена. Содержание U_3O_8 в фосфоритных рудах изменяется от 0,005 до 0,02%, а в отдельных участках достигает 0,06%.

В Азии кайнозойские месторождения урана известны во многих странах, но представлены они преимущественно мелкими объектами. Крупные запасы урана заключены в ильменитовых прибрежно-морских россыпях Индии. Содержание в них U_3O_8 колеблется от 0,2 до 0,48%.

В Пакистане вдоль р. Инд от выхода его из Гималаев на протяжении 100 км издавна осуществляется промывка песков на золото; тяжелая фракция шла в отвал. В 1 т песка содержится 20–150 г уранинита, тухуалита и т.п., 0,1–0,5 г золота, 25–150 г шеелита, 30–250 г монацита, 150–600 г циркона. Источником россыпей являются граниты, гнейсы, слюдяные и гранатовые сланцы и др. Запасы не установлены, но, по-видимому, существенны.

В Японии к позднему миоцену или раннему плиоцену относится образование урановых руд района Нингё-Тогё, приуроченных к конгломератам и озерным осадкам одноименной формации. Практическое значение урановых руд этого района невелико.

Крупные ресурсы урана определены в последние годы в придонных илах батиальной зоны Черного моря вблизи побережья Турции.

В Западной Австралии открыто месторождение *Йилирри* и ряд других месторождений, выявленных в пределах пустынного безводного плато, сложенного архейскими образованиями – преимущественно гранитоидами, разделенными поясами зеленокаменных пород. Карнотитовое оруденение проявлено в калькретах, развитых преимущественно в более низких частях долин, русла которых большую часть года остаются сухими, а также нередко по периферии соленых озер. Считается, что калькреты формировались продолжительное время при смене относительно влажных периодов засушливыми в результате испарения грунтовых вод, выносящих на поверхность карбонаты (преимущественно кальций), которые цементируют поверхностные пески и галечники. Мощность калькретовых образований изменяется от 5 до 15 м; залегают они преимущественно в 3-метровом слое гравия, сцементированного кальцитом, реже на коренных породах. Карнотитовое оруденение приурочено к верхней части калькретового горизонта и во многих участках проявляется непосредственно на поверхности. Карнотит выполняет трещинки, пустоты и образует корочки. Считается, что уран, калий и ванадий, необходимые для образования карнотита, привнесены метеорными водами из слагающих плато пород; уран и калий из древних гранитоидов, ванадий – из латеритной коры выветривания.

На месторождении *Йилирри*, приуроченном к сухому руслу, площадь рудной минерализации составляет 45 х 3 км, в том числе площадь зоны с повышенным содержанием 6 х 0,5 км при мощности около 8 м. Запасы урана составляют 46 тыс. т со средним содержанием U_3O_8 0,15%, в том числе 24 тыс. т в рудах с содержанием U_3O_8 0,36%. Разработка месторождения будет вестись открытым способом.

В районе Биверли в Южной Австралии известен ряд месторождений (*Фром-Лейк* и др.), урановая минерализация которых проявлена в неогеновых песках; запасы в них U_3O_8 оцениваются примерно в 16 тыс. т.

В Европе, возможно, третичный возраст имеют низкотемпературные (с халцедоном и флюоритом) гидротермальные месторождения урановой смолки в Португалии и в некоторых районах Франции и ФРГ, связанные с альпийскими проявлениями вулканизма. В ряде буроугольных месторождений Австрии содержание урана в углях составляет 57–65 г/т.

В кайнозойскую эру исключительно широко проявлялись процессы формирования железных руд; которые привели к образованию: а) многочисленных месторождений латеритного типа в Америке, Азии, Океании, Африке; б) осадочных (морских и континентальных) месторождений на территории Советского Союза, Западной Европы, Северной Америки, Африки и в) скарновых месторождений в Румынии, Мексике, Индонезии и в других странах.

Крупные ресурсы железа заключены в месторождениях латеритных руд, которые часто содержат в промышленных концентрациях также никель и кобальт и разрабатываются с целью извлечения именно этих полезных компонентов. Промышленное значение их как источников железа невелико, и только в редких случаях они употребляются в качестве природно легированных руд. Латеритные руды многих месторождений, даже несмотря на повышенное содержание в них железа, не могут быть рентабельно использованы в доменном процессе главным образом из-за постоянного присутствия в них в переменных количествах хрома.

Состав и характер распространения латеритной коры выветривания зависит от состава материнских пород. Для кайнозойской эры особенно характерны месторождения коры выветривания основных и ультраосновных пород, образованные в условиях жаркого и влажного климата и представленные латеритными гидрогётитовыми рудами с повышенным содержанием никеля, хрома, титана, марганца, ванадия и кобальта.

Крупные запасы таких руд сосредоточены на Кубе, где сплошные покровы латеритных образований прослеживаются на протяжении десятков километров, особенно в восточной части страны. Кора выветривания развивается здесь за счет меловых ультраосновных пород, превращенных в серпентиниты, поверхностные части которых, в свою очередь, постепенно переходят в бурые железняки. Латеритные руды почти нацело сложены лимонитом, местами с небольшой примесью гематита и магнетита, и постоянно содержат в промышленных концентрациях никель и кобальт; по ресурсам этих металлов Куба занимает одно из ведущих мест в мире.

Мощность покровов латеритных руд колеблется от 3 до 30 м. Обнажаются они непосредственно на дневной поверхности; горнотехнические условия их разработки весьма благоприятны. Общие геологические запасы латеритных железных руд Кубы оцениваются в 8–15 млрд. т, из них вероятные запасы руд со средним содержанием железа 40–50% составляют 3–3,5 млрд. т.

На островах Индонезии (Сулавеси, Калимантан, Себуку и др.) латеритные никельсодержащие железные руды относятся по времени образования к позднему миоцену. Содержание Fe в рудах составляет 49% (месторождение Ларона) и 45–62% (Себуку), Ni 0,4–0,93% (среднее 0,66%), Cr_2O_3 2,4–4,79%. Месторождения не разведаны, потенциальные запасы их оцениваются в 0,5 млрд. (Сулавеси) – 1 млрд. т (Калимантан).

Аналогичного типа латеритные руды широко распространены на Филиппинах, где они сосредоточены на островах Минданао, Нонок, Хомонхон. Наибольшие потенциальные запасы латеритных руд (по разным оценкам, они колеблются от нескольких десятков миллионов тонн до 1000 млн. т) заключены в месторождениях провинции Суригао, в северо-восточной части о. Минданао. Руды содержат 47,7% Fe, 0,78% Ni, 4,19% Cr_2O_3.

Месторождения латеритных железных руд издавна известны в Новой Каледонии (Франция). Они образовались в миоцене – олигоцене в результате выветривания перидотитов и содержат от 40 до 55% Fe, 1,2–3,0% Ni, 0,1% Co и около 3% Cr_2O_3.

Месторождения латеритных руд Индонезии, Филиппин и Новой Каледонии, так же как и Кубы, пока представляют практический интерес только в качестве источников никеля и кобальта. Разведке подвергались лишь те участки коры выветривания, которые содержат повышенные концентрации именно этих металлов, поэтому общие ресурсы железных руд остаются невыясненными. Несомненно, однако, что они составляют многие миллиарды тонн.

В этом регионе известны также месторождения контактовых магнетитовых или магнетит-гематитовых руд. Руды отличаются сравнительно высоким качеством, но запасы отдельных месторождений исчисляются только первыми десятками миллионов тонн. На о. Суматра к ним, например, относится месторождение контактовых железных руд позднемиоценового возраста. Содержание в них железа колеблется от 48 до 64%. Высоким содержанием железа – от 50 до 65% – отличаются контактово-метасоматические железные руды на островах Минданао (месторождения *Мати, Сибугей*) и Лусон (месторождение *Ларап*).

Крупное месторождение латеритных руд выявлено в Африке, на полуострове Каллум (Гвинея). Месторождение связано с корой выветривания дунитов, слагающих полуостров. Рудные тела мощностью 40–42 м представлены в основном бурыми железняками и состоят из трех слоев, близких по химическому составу: а) нижнего мощностью около 20 м, представленного рыхлыми тонкозернистыми рудами, б) промежуточного мощностью около 11 м, сложенного красными непрочными пористыми рудами, и в) верхнего той же мощности, образованного твердыми пористыми рудами.

Средний химический состав руд характеризуется следующими данными: Fe 51,5%, S 0,1%, P 0,06%, Ni 0,02%, Cr 1,25%, Mg 0,3%, Al_2O_3 9,8% и SiO_2 2,5%. Прогнозные запасы руд месторождения оцениваются в 2,5 млрд. т при содержании Fe 47%.

Наиболее крупные кайнозойские железорудные месторождения осадочного типа сосредоточены в СССР. К образованиям этой эпохи относятся *Керченский* бассейн, а также *Лисаковское* месторождение и *Приаральская* группа месторождений; в третичное время закончилось формирование Западно-Сибирского (Колпашевского) железорудного бассейна.

Керченский бассейн занимает южную часть обширной Приазовской железорудной провинции, включающей Северное Приазовье, восточную

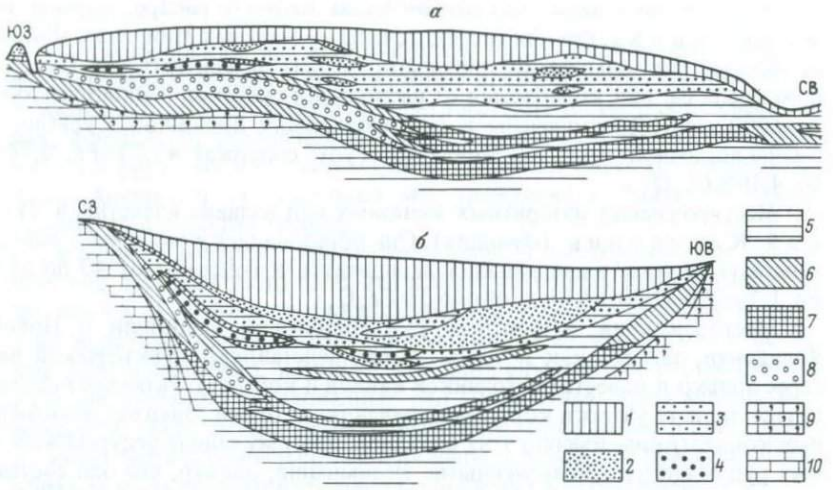


Рис. 103. Условия залегания рудоносного горизонта в Керченском бассейне *(по А. У. Литвиненко)* :

а – продольный разрез Кыз-Аульской мульды несколько севернее осевой линии; *б* – поперечный разрез той же мульды. *1* – четвертичные лёссовидные суглинки; *2* – пески и алевриты; *3* – песчаные глины; *4* – песчаные глины с переотложенными рудными оолитами; *5* – глины; *6* – окисленные оолитовые руды; *7* – неокисленные и слабо окисленные оолитовые руды; *8* – окисленные обломочные и обломочно-оолитовые руды; *9* – рыхлые ракушечные, часто сильно глинистые известняки; *10* – известняки

часть степного Крыма, Керченский и Таманский полуострова и западную часть Прикубанской низменности.

Рудоносный горизонт Керченского бассейна (рис. 103) представлен полого залегающими (от 1 до 10–12°) пластами ожелезненных песчано-глинистых пород, включающих оолитовые бурые железняки, и приурочен к морским отложениям киммерийского яруса плиоцена, которые выполняют обширные мульды протяжением до 6–40 км и шириной 1,5–4 км, а иногда до 13 км. Общая рудная площадь бассейна превышает 250 км^2. Мощность рудных залежей колеблется от 0,5–2 м в краевых частях мульд, где руды частично выходят на поверхность, до 27 м в центральных частях, где глубина их залегания достигает 250–280 м.

Руды оолитового и крупноконкреционного сложения. Форма оолитов сферическая, овальная, иногда неправильная. Размер их колеблется от сотых долей миллиметра до 1–3 см, а иногда и более. Объем оолитов по отношению к цементу изменяется в отдельных прослоях от 10–25 до 55–80% (густовкрапленные руды). Главные рудные минералы – лептохлорит, гётит, гидрогётит и в меньшей мере сидерит, а также олигонит, лимонит, псиломелан. Кроме того, руды содержат в значитель-

ных количествах глауконит, кварц, фосфаты, карбонаты, сульфаты и глины.

Среди руд Керченского бассейна различают так называемые табачные, коричневые и икряные разности. Наиболее распространены плотные табачные руды, сложенные преимущественно лептохлоритом. Они залегают обычно ниже уровня грунтовых вод в основании рудного пласта центральных частей мульд, а иногда почти нацело слагают рудный пласт. Среднее содержание Fe в табачных рудах составляет 34–39,5%, Mn 0,68–2,26%, P 1,01%, As 0,1%. Рыхлые коричневые руды состоят в основном из гидрогётита и приурочены к зоне окисления в краевых частях мульд. Они имеют наибольшее практическое значение благодаря легкой обогатимости (промывкой) и последующей агломерации мытых руд. Икряные руды распространены незначительно и встречаются совместно с коричневыми и табачными рудами. Отличительная особенность их – повышенная концентрация марганца (до 5,7–6,58 и даже до 9,4%) и фосфора (порядка 0,73–1%).

Средний химический состав руд бассейна характеризуется следующими данными: Fe 33,6–40,3% (в среднем 37,3%), Mn 0,8–2,53%, P 0,6–1,06%, As 0,07–0,1%, CaO 1,89%, MgO 1,01–1,07%, SiO_2 11–22%, Al_2O_3 5% (иногда до 10,8%). В рудах присутствуют S, Cr, Ti, V.

Руды Керченского бассейна принято относить к прибрежно-морским осадочным образованиям. При этом одни исследователи считают, что распределение железа и фосфора контролировалось процессами седиментации и диагенеза, а распределение марганца, помимо того, – процессами, обусловившими формирование зоны окисления. Другие полагают, что распределение всех важнейших элементов носит первичный характер, т.е. что оно произошло в стадии диагенеза. В.Ф.Малаховский, основываясь на положениях Н.М.Страхова о преимущественной концентрации рудонакопления на сублиторальных глубинах, приходит к выводу о максимальной концентрации железа, серы и марганца в бассейне на глубинах 3–4 м, а образование икряных руд с повышенным содержанием марганца связывает с зоной прибоя киммерийских лагун.

Лисаковское месторождение оолитовых руд в Западном Казахстане приурочено к отложениям кустанайской свиты плиоцена, выполняющим древнюю аллювиальную долину в мезо-кайнозойских отложениях. Оруденение прослежено в полосе протяженностью почти 100 км и шириной от 1 до 8 км (в среднем 1,5 км). Длина наиболее крупной Главной залежи 20 км, ширина 1–1,5 км, максимальная мощность 25–30 м. Мощность остальных залежей составляет 4,1–4,7 м; протяженность их измеряется несколькими километрами, ширина – от нескольких сотен метров до 2000 м. Главная залежь выходит на поверхность, а остальные, расположенные к югу и востоку от нее, вскрываются на глубине 15–20 м.

Руды разделяются на окисленные, в значительной мере обохренные, и неокисленные, почти не отличающиеся по химическому составу от первых. Окисленные руды в основном рыхлые, состоят из оолитов, стяжений и обломков гидрогётитового состава с примесью зерен кварца и по-

левого шпата. Нижние, неокисленные горизонты рудной толщи, особенно в восточной части месторождений, большей частью имеют плотное сложение вследствие цементации оолитовых бурых железняков лептохлоритом, а местами (обычно ниже уровня грунтовых вод) и сидеритом.

Особенность месторождения – струйчатое строение рудных залежей, характерное для типичных аллювиальных образований. Средний химический состав руд: Fe 35%, SiO_2 31%, S 0,03%, P 0,48%.

Месторождения осадочных железных руд третичного возраста известны в ряде стран Европы. К ним относятся небольшие месторождения оолитовых руд в Дании, ФРГ (*Кессенберг, Грюнтен*; общие запасы лимонитовых руд 20 млн. т при содержании железа 20–25%, марганца до 10–15%), Бельгии (*Герольд*; общие запасы 15 млн. т при содержании железа 28%) и Швейцарии (*Делемон*).

С альпийским орогенезом в Европе связывают образование скарново-метасоматического месторождения *Банат* в Румынии, месторождений Восточной Сербии в Югославии, а также метасоматических месторождений района Хюттенберг (Центральные Альпы) в Австрии. По времени образования эти месторождения, представленные жилами и гнездообразными залежами в мраморах палеозоя, относятся к олигоцену. Рудные тела сложены главным образом сидеритом и содержат 32–45% железа.

Широко распространены осадочные железные руды в США, где они сосредоточены преимущественно в штатах Алабама и Техас и датируются средним эоценом.

В штате Алабама мощность залежи бурого железняка иногда достигает 30 м. Они приурочены к песчаникам, гравийным и глинистым отложениям. Руды лимонитовые, содержат Fe 35–52%, P 0,8–0,9%, SiO_2 10–12% и Mn 0,67% (в добытой руде). Разрабатывались они открытым способом. Общие запасы бурых железняков в штате Алабама составляют около 100 млн. т.

В восточной части штата Техас известны два месторождения морских гидрогётит-шамозитовых руд: *Северное* и *Южное*. В обоих месторождениях бурые железняки в виде желваков и тонких прослоев приурочены к глауконитовым пескам среднего эоцена. Мощность рудоносной толщи изменяется от 1,5 до 9 м. Химический состав руд этих месторождений следующий: Fe 42–57%, SiO_2 5–13%, Al_2O_3 2–12%, P 0,04–0,25%, S 0,01–0,02%. Общие запасы руд оцениваются в 180 млн. т, в том числе разведанные – 100 млн. т.

В Северной Америке известны также третичные месторождения магнетитовых руд контактово-метасоматического происхождения. Наиболее интересные из них расположены в Мексике. Руды этих месторождений отличаются высоким содержанием железа (52–67%) и повышенным содержанием фосфора (0,14–0,2%). Самое крупное месторождение *Сьерро-де-Меркадо* заключает более половины всех запасов железных руд страны и является крупнейшим в мире кайнозойским месторождением контактово-метасоматических руд. Начальные запасы месторождения составляли 600 млн. т.

Осадочные месторождения железных руд третичного возраста встречаются в ряде районов Африки. В Нигерии они представлены морскими осадочными рудами, запасы которых оцениваются в 200 млн. т при содержании железа 45–50%, достоверные запасы составляют 30 млн. т. Здесь развиты также латеритизированные железистые песчаники предположительно третичного возраста, заключающие 60 млн. т гётит-лимонитовых оолитовых руд с содержанием железа от 31 до 43%.

Небольшие месторождения железных руд кайнозойского возраста известны во многих других странах.

Широко распространены месторождения болотных руд. В небольшом объеме они разрабатывались в Дании, где руды отличаются высоким содержанием марганца (до 20%) и содержат в среднем 34% железа и 25% кремнезема.

Известны многочисленные четвертичные и современные железорудные месторождения коры выветривания, приуроченные главным образом к площадям развития красноземов и латеритов в тропиках и субтропиках. В ряде стран выявлены плейстоценовые и современные прибрежные россыпные месторождения магнетитовых и титаномагнетитовых песков, которые разрабатываются для извлечения титановых минералов, циркона, монацита и других компонентов. В качестве источников железа россыпи разрабатываются только в Японии, где запасы железистых песков (100 млн. т) достигают почти 45% от общих запасов железных руд в стране. Пески содержат 10–30% железа. Годовая добыча их достигла примерно 80 тыс. т.

ТИТАН, ЦИРКОНИЙ

Большое экономическое значение имеют аллювиальные и прибрежно-морские россыпи минералов титана и циркония, особенно широко распространенные в Индии, Австралии, США, ЮАР. Россыпи обычно содержат в значительных концентрациях ильменит, рутил, циркон, магнетит, титаномагнетит и лейкоксен, часто монацит и колумбит. Кроме того, в тяжелой фракции встречаются золото, алмаз, брукит, анатаз, сфен, гранат, роговая обманка, эпидот, цоизит, андалузит, дистен, силлиманит, турмалин, хромшпинелиды, ставролит, корунд, пирит, марказит и др.

Судя по минеральному составу, эти россыпи образовались в результате разрушения преимущественно гранитоидных пород (в том числе, по-видимому, и гранитных пегматитов), а также близких к ним по составу метаморфических образований. Россыпи, возникшие в результате размыва коры выветривания основных пород, отличаются более однообразным составом полезных компонентов и обычно содержат преимущественно ильменит и магнетит.

В Индии наиболее крупные россыпи сосредоточены на Траванкурском побережье, в юго-западной части полуострова Индостан. Вдоль побережья промышленные россыпи („черные пески") прослеживаются в полосе протяжением 160 км, при средней ширине 150 м и мощности до 7,5 м. На западном побережье длина россыпи *Малагунд* составляет 1,6 км,

ширина – 30 м и мощность продуктивного слоя 0,6 м; длина россыпи *Човгхат-Понмени* 3–4 км, ширина 30–60 м и мощность 0,5 м; длина россыпи *Чавара* 22 км, ширина 45 м и мощность 0,6–1,5 м. Россыпи отличаются высоким содержанием полезных компонентов, особенно ильменита, который занимает в среднем 3/4 объема песков. О количественных соотношениях тяжелых минералов в Траванкурских россыпях можно судить по их запасам, подсчитанным (в тыс. т) для типичного участка площадью 234 га: ильменита 9026, рутила 728, лейкоксена 285, монацита 72, циркона 787, силлиманита 1885, кианита 68 и граната 21.

Кроме указанных минералов, пески содержат кварц, количество которого обычно не превышает 4–6%. Содержание ThO_2 в монаците колеблется от 5 до 11%, а U_3O_8 – от 0,2 до 0,46%. Установлена разновидность монацита – чералит, содержащая от 4 до 6% U_3O_8 и от 19 до 32% ThO_2.

Россыпи этих минералов известны также на *Мадрасском побережье* и в ряде районов, удаленных от современного берега моря, где они представлены как субсовременными аллювиальными отложениями, так и более древними третичными образованиями. В отличие от прибрежных песков в них дополнительно присутствуют колумбит-танталит, ураносодержащий алланит, апатит, барит, касситерит и целестин.

В последнее время основными источниками производства титановых концентратов в стране являются аллювиальные россыпи штатов Керала и Тамилнад, запасы прибрежных песков которых оцениваются в 160 млн. т. Общие запасы ильменитовых песков Индии оцениваются до 300 млн. т. Производство ильменитовых концентратов возросло с 81,6 тыс. т в 1975 г. до 154,2 тыс. т в 1980 г., рутиловых – соответственно с 3,6 до 10,9 тыс. т.

Запасы циркона в Траванкурских россыпях подсчитаны в количестве 10 млн. т, но практически запасы этих продуктивных песков неограниченны, так как на выработанных участках они снова намываются в течение нескольких лет. Общие запасы монацита составляют 2–5 млн. т, а разведанные – свыше 1 млн. т, запасы урана достигают 6–7 тыс. т и тория – около 150 тыс. т.

Общие запасы редкоземельных элементов Индии оцениваются в 3 млн. т при содержании в россыпях 0,3–0,6%.

Крупные россыпи, сходные по характеру минерализации с индийскими, известны в Ш р и - Л а н к е. Они сосредоточены на западном и восточном берегах острова и отличаются комплексным составом продуктивных песков, в которых содержание ильменита достигает 75%, рутила 10–12% и циркона 8–10%. Встречаются отдельные участки россыпей, состоящие почти наполовину из зерен монацита. В большей части россыпей содержание циркона в 4–5 раз больше, чем монацита. Наиболее крупные россыпи сосредоточены в прибрежных морских песках восточного побережья острова. Здесь выделяется район *Пулмоддайи*, россыпи которого заключают 4 млн. т циркона и около 1 млн. т монацита. Ширина россыпей составляет в среднем 70 м, а мощность обогащенного слоя песка колеблется от 0,6 до 1,8 м.

Основные продуктивные россыпи прослежены на побережье между Муллайтиву и Каччевели на протяжении 280 км и установлены также в пределах шельфа. В 1978 г. вступил в строй государственный завод по переработке песков мощностью 85 тыс. т ильменита, 14 тыс. т рутила и 10 тыс. т циркона. Производство ильменитовых концентратов в стране в 1980 г. составило 33,9 тыс. т, рутиловых – 12,8 тыс. т.

В 20 тыс. т оцениваются запасы редкоземельных элементов в россыпях страны при содержании 0,2–1,2%.

От россыпей Индии и Шри-Ланки резко отличаются минеральным составом россыпи Я п о н и и, которые состоят в основном из титаномагнетита с небольшой примесью других минералов, главным образом лимонита и кварца. Россыпи широко распространены во многих районах, но наиболее значительные из них сосредоточены на северо-восточном побережье о. Хонсю. Полоса распространения россыпных месторождений прослеживается более чем на 100 км при ширине 30 км и средней продуктивной мощности 3 м. Пески залегают на высоте 240 м над уровнем моря и по времени образования относятся к плейстоцену. Содержание в них TiO_2 составляет 7–19%, V 0,3–0,4%. Других полезных компонентов пески не содержат. В целом по стране запасы TiO_2 в титаномагнетитовых песках оцениваются в 1,5 млн. т при среднем содержании 10%.

Ильменит и циркон нередко образуют заметные концентрации в оловоносных россыпях. В частности, они извлекаются попутно при обогащении россыпных месторождений олова в М а л а й з и и.

Титановые россыпи, относящиеся к плейстоцену, широко распространены в Н о в о й З е л а н д и и. В одном только районе р. Ванганую ресурсы песков оцениваются в 400 млн. т. Они заключают 60 млн. т магнетита и 23 млн. т титаномагнетита. Содержание ванадия обычно не превышает десятых долей процента. Магнитной сепарацией получается богатый железом концентрат, содержащий 3% V_2O_5. В последнее время на о. Южном выявлены значительные запасы ильменитовых песков, подготавливаемых к разработке.

Ведущее место в мире по добыче ильменита, рутила и циркония принадлежит А в с т р а л и и, где разрабатываются прибрежные морские россыпи, протягивающиеся полосой на 1225 км от о. Фрезерс в Квинсленде до г. Сидней в Новом Южном Уэльсе. Кроме морских россыпей (приуроченных к современному берегу или расположенных в некотором отдалении от него), в которых шлиховой материал намыт прибоем, известны также дюнные месторождения древней береговой линии и погребенные россыпи. Они отличаются от современных россыпей крупными размерами и более низким содержанием полезных компонентов.

Среднее содержание минералов тяжелой фракции в разрабатываемых песках обычно превышает 20% при средней мощности продуктивных прослоев от 0,3 до 3 м. Содержание минералов в тяжелой фракции составляет (в %): циркона 26–53, рутина 20–45, ильменита 14–50, монацита 0,2–2,0. В ничтожных количествах присутствуют золото и платина. Общие запасы этих минералов. подсчитанные по 16 наиболее круп-

ным месторождениям, оцениваются в 2,4 млн. т. В том числе (в тыс. т) циркона 270, рутила 754, ильменита 661, монацита 13; кроме того, они заключают значительные запасы гафния. Разведанные запасы дюнных песков на одном лишь о. Страдброк составляют 200 млн. $м^3$. В них содержится 6 млн. т тяжелого шлиха или 1,4 млн. т циркона.

В последние годы в прибрежных зонах страны открыт ряд месторождений титановых минералов, среди которых наиболее крупным представляется месторождение *Иниеба* в Западной Австралии. Месторождение представлено серией древних террасовых россыпей, расположенных на 85–130 м выше уровня моря. В подготавливаемом для эксплуатации участке достоверные запасы руды определены в 5,2 млн. т, а вероятные в 12,6 млн. т при содержании рутила 7,8% и ильменита 37%. Запасы руд другого участка месторождения оценены в 3,5 млн. т.

Суммарные запасы ильменита в Западной Австралии оцениваются в 47 млн. т и рутила в 3,5 млн. т Крупное месторождение минералов титана открыто в Новом Южном Уэльсе. Аналогичные месторождения известны на островах Кинг и Тасмания.

Австралийские россыпи интенсивно разрабатываются. Производство ильменитовых концентратов в 1980 г. достигло 1300 тыс. т, рутиловых – 300 тыс. т, циркониевых – около 500 тыс. т и монацита – 10 тыс. т с содержанием 5–6 тыс. т TR_2O_3. Доказанные запасы TiO_2 в титановых минералах страны составляют 34,5 млн. т, в том числе 9,5 млн. т относятся к рутилу; циркония – 7 млн. т.

Крупные ильменит-циркон-монацитовые россыпи известны в С Ш А, где они широко распространены в штатах Флорида, Калифорния, Айдахо, Северная и Южная Каролина, Вашингтон, Орегон, Виргиния и Нью-Джерси. В россыпях, расположенных вдоль восточного побережья в штатах Северная и южная Каролина и особенно в штате Флорида, сосредоточено около 25% всей добычи ильменита и циркона в стране.

Россыпи представлены современными и дюнными отложениями; первые отличаются более высоким содержанием полезных минералов благодаря постоянному намыву шлиха, а вторые характеризуются более крупными запасами и служат основным объектом разработок. Протяженность отдельных разрабатываемых россыпей составляет 5–10 км, ширина 1–4 км, мощность продуктивных песков 2,5–3,5 м, а иногда и больше. Наиболее крупная россыпь *Трэйл Редж* распространена на площади 45 $км^2$ при средней мощности песков 10,5 м. Она содержит в среднем 4% минералов тяжелой фракции, из которых около 45% приходится на минералы титана. Протяженность другой крупной россыпи, расположенной в районе Джэксонвилла, – 9,6 км, ширина – 0,8 км, мощность песков 3,6 м и мощность торфов от 1,0 до 3,6 м. Среднее содержание минералов тяжелой фракции здесь также составляет 4%, а в состав фракции входят главным образом минералы титана (преимущественно ильменит) – более 50%, циркон – 11% и монацит – 0,5%.

Общие запасы TiO_2 во флоридских россыпях оцениваются около 13 млн. т.

Крупные россыпи известны также в штате Нью-Джерси, где запасы тяжелой фракции подсчитаны в количестве 2 млн. т при содержании (в %) : ильменита 81, циркона 4, лейкоксена 3 и рутила 1,5.

Запасы циркона в россыпях США оцениваются примерно в 12 млн. т, из которых 6,5 млн. т сосредоточено в месторождениях Флориды, по 1,4 млн. т в штатах Калифорния и Нью-Джерси, 1,2 млн. т в штате Южная Каролина и 1,2 млн. т в месторождениях других штатов.

Крупными ресурсами циркония обладает Бразилия. Основу ее богатств составляют коренные и россыпные месторождения бадделеита, сосредоточенные на горном плато Посус-ди-Калдас. Коренные месторождения приурочены к мезозойским (87 млн. лет) нефелиновым сиенитам, обогащенным эвдиалитом. Основным объектом разработок является кора выветривания этих пород, обогащенная цирконом и бадделеитом.

Среднее содержание ZrO_2 по отдельным разрабатываемым участкам колеблется от 45 до 65%.

Известны также богатые ильменит-циркон-монацитовые россыпи, расположенные в штатах Баия, Эспириту-Санту и Рио-де-Жанейро.Общая протяженность этих россыпей составляет 175 км. Среднее содержание в них минералов тяжелой фракции обычно превышает 30%; из них около 60% приходится на минералы титана, 25% – на циркон и около 5% – на монацит. Россыпи разрабатываются главным образом на монацит, содержание которого в обогащенных прослойках достигает 50%; попутно извлекается циркон.

Россыпи титановых минералов и циркона известны и в ряде районов Африки. Наиболее крупные из них выявлены в ЮАР, где в последние годы началась разработка ильменитовых песков месторождения *Ричард-Бей* в провинции Наталь. В Транскее (Капской провинции) открыты значительные прибрежные россыпи, в которых среднее содержание ильменита, рутила и циркона составляет 9,2%, а в отдельных участках достигает 30%. В 1978 г. производство ильменитовых концентратов в ЮАР составило 90,7 тыс. т и рутиловых – 18,1 тыс. т, а в 1979 г., по предварительным данным, достигло соответственно 300 и 30 тыс. т. Предполагается, что годовое производство рутила здесь достигнет 75 тыс. т, циркона – 150 тыс. т и титанового шлака – 600 тыс. т.

Крупные рутиловые россыпи разведаны и разрабатываются на юго-западном побережье Сьерра-Леоне. Общие запасы песков оцениваются более чем в 30 млн. т при содержании в них двуокиси титана от 1,5 до 2,1 %. Источником их образования являются титаномагнетитовые тела в норитах, распространенных во многих районах страны. Доказанные запасы TiO_2 Сьерра-Леоне составляют 2,6 млн. т при среднем содержании ее 1,8%. Годовое производство рутиловых концентратов находится на уровне 10 тыс. т.

Месторождения титановых минералов выявлены и изучены в ряде других стран Африканского континента. К ним относятся обширные аллювиальные россыпи, расположенные вдоль берегов оз. Малави и на побережьях Сенегала, Танзании, Мозамбика, Гамбии, Либерии и Мадагаскара.

Ряд прибрежных месторождений титансодержащих песков выявлен в шельфовой зоне Северного моря у побережья Нижней Саксонии (ФРГ). В отобранных пробах содержание рутила составляет 0,4% и ильменита 0,7%. Обнаружены также крупные ильменитовые россыпи на севере Гренландии. Содержание в них ильменита составляет 60–70%.

Комплексные циркон-рутил-ильменитовые россыпи морского типа известны в европейской части ССС Р, где они приурочены к толще песчаных отложений среднесарматского яруса и полтавской серии. Основные рудные минералы – рутил, ильменит и циркон. В несколько меньших количествах в песках присутствуют кианит, силлиманит, ставролит, турмалин. В единичных зернах встречаются андалузит, монацит и гранат.

В районах Зауралья и Казахстана подобные россыпи приурочены к континентальным отложениям среднего и верхнего олигоцена.

МАРГАНЕЦ

Бóльшая часть мировых разведанных запасов марганца сосредоточена в пяти кайнозойских месторождениях – Никопольском, Большом Токмакском и Чиатурском в Советском Союзе, Оброчиште в Болгарии и Моанда в Габоне. Рудоносными в них являются песчано-глинистые отложения, в которых рудообразующие минералы присутствуют в форме конкреций, оолитов, стяжений и землистых скоплений.

Никопольское и Большое Токмакское месторождения (ССС Р) относятся к обширному бассейну, образовавшемуся в нижнем олигоцене в платформенных условиях прибрежной мелководной зоны. В строении бассейна намечается определенная зональность: по мере удаления от береговой линии окисные руды сменяются окисно-карбонатными, которые в результате фациальных изменений переходят в безрудные глины. В аналогичных прибрежно-морских условиях образовались марганцевые руды Чиатурского месторождения и месторождения Оброчиште тоже олигоценового возраста, а также руды месторождения Моанда, формирование которого, по-видимому, началось в неогене и продолжалось в четвертичное время.

На *Никопольском* месторождении продуктивные отложения почти горизонтально залегают на неровной поверхности докембрийских кристаллических пород и продуктах их выветривания, а также на более древних палеогеновых отложениях. Промышленное оруденение проявлено в виде одного выдержанного пласта марганцевой руды, приуроченного к нижней части песчано-глинистой толщи. Мощность рудного пласта – от нескольких сантиметров до 3,5 м. Встречаются и аномальные мощности, достигающие 6,5 м при наиболее распространенной мощности 2,0–3,0 м, причем ее увеличение наблюдается в центральных частях отдельных рудных площадей. Рудообразующими минералами являются манганит, пиролюзит,псиломелан и манганокальцит, присутствующие в форме конкреций, стяжений, оолитов и землистых скоплений. Соответственно минеральному составу среди руд выделяются окисные, карбо-

натные и смешанные (окисно-карбонатные) разности. Наибольший практический интерес представляют окисные руды, среди которых выделяются лучшие сорта малофосфористых руд.

Рудоносный горизонт вследствие размыва сохранился лишь на отдельных площадях. Он перекрыт харьковскими песчано-глинистыми отложениями, выше которых залегают пески, глины и известняки сармата, понта, горизонт красно-бурых глин и толща лессовидных четвертичных суглинков. Общая мощность надрудных отложений колеблется от 10 до 100 м.

Продуктивные отложения *Большого Токмакского* месторождения являются непосредственным продолжением никопольских и также заключают один горизонтально залегающий пласт марганцевых руд. Последние представлены преимущественно карбонатными разностями, и лишь в северной части месторождения выделяются сравнительно крупные зоны окисных и смешанных руд. Окисные руды состоят из скоплений псиломелановых и манганитовых конкреций в сажистой (пиролюзитовой) массе и отдельных гнезд песка и глины. Мощность пласта окисной руды колеблется от 0,1 до 2 м, глубина залегания его изменяется от 27 до 30 м. Вдоль южной границы распространения окисных руд протягивается зона смешанных окисно-карбонатных руд шириной 0,8–4 км. Мощность пласта смешанных руд колеблется от 0,1 до 2,7 м, а глубина залегания – от 50 до 100 м. Верхняя его часть сложена конкрециями манганита и псиломелана в сажистой рудной массе, а нижняя – стяжениями манганокальцита в серой карбонатной глине. Карбонатные, преимущественно кальциево-родохрозитовые и манганокальцитовые, руды приурочены к центральной части месторождения, где они образуют полосу шириной от 1,5 до 8 км. В наиболее полном разрезе верхняя часть пласта карбонатных руд мощностью 0,4–0,8 м представлена желваковыми рудами, состоящими из скопления конкреций и желваков (от нескольких миллиметров до 6–10 см) в светло-серой карбонатной глине. Нижняя часть пласта мощностью 0,2–1,4 м сложена плитняковыми (сплошными) рудами.

Среднее содержание марганца в рудах Никопольского месторождения 23%, в том числе в окисных рудах 26,0%, окисно-карбонатных – 24,8% и в карбонатных – 18,2%. Среднее содержание марганца в рудах Большого Токмакского месторождения 24,9%, в том числе в карбонатных разностях – 24,5%, а в окисных – 34,3%.

Общие запасы марганцевых руд всего бассейна превышают 2,5 млрд. т.

Основной марганценосный горизонт *Чиатурского* месторождения приурочен к нижней части олигоценовых спонголитовых песчаников и отделяется от нижележащих верхнемеловых известняков тонким прослоем грубозернистого кварц-аркозового песчаника. Он перекрыт песчанистыми глинами и песчаниками майкопской серии мощностью от 10–15 до 60–70 м, среди которых местами залегает второй марганценосный горизонт, содержащий отдельные разобщенные и сравнительно

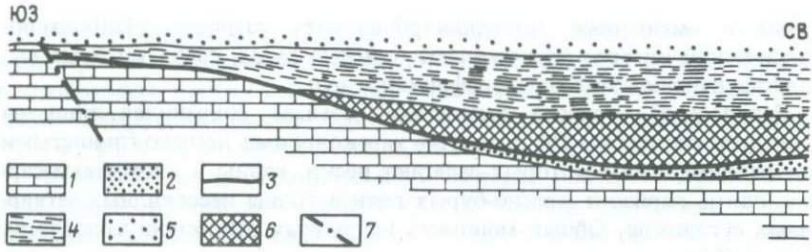


Рис. 104. Схема строения олигоценовой толщи Чиатурского месторождения марганца *(по А. Г. Бетехтину)* :

1 – верхнемеловые известняки; *2* – подрудные кварцевые пески и песчаники; *3* – марганценосный горизонт; *4* – сланцеватые спонголитовые породы; *5* – чокракские пески; *6* – глины; *7* – главный сброс

маломощные (50–10 см) прослойки карбонатных и окисленных руд (рис. 104).

Марганценосный горизонт представляет собой серию рудных прослоек, чередующихся с рыхлыми кремнистыми безрудными прослойками. Мощность рудных прослоек сильно колеблется, но обычно не превышает 50–60 см. Рудные прослойки нижней части горизонта отличаются более высоким содержанием марганца и представлены окисными рудами, среди которых по текстурным особенностям и физическим свойствам выделяется ряд разновидностей, носящих местные названия: „вкрапленные оолитовые', „пласт", сацхрили", „жгали", „мцвари" и „белта". Главными рудными минералами являются псиломелан и пиролюзит, менее широко развит манганит. Без обогащения в настоящее время используются разновидности белта и мцвари. Руды белта приурочены преимущественно к средней части рудоносного горизонта, а мцвари – обычно к его основанию.

Широко развиты карбонатные руды, залегающие над окисными рудами или замещающие их нацело в периферических частях месторождения. Мощность карбонатных руд колеблется от 0,5 до 1,5 м, редко достигая 2 м.

Среднее содержание марганца в рудах Чиатурского месторождения составляет 20,6%, в том числе в окисных оно колеблется от 19,4 до 40,7% (среднее 25,1%), в карбонатных – от 15 до 20,7% (среднее 17,2%), а в окисленных – от 16 до 24,5% (среднее 20,2%).

Сравнительно небольшие месторождения марганцевых руд третичного возраста образуют *Уральский* марганцеворудный бассейн, расположенный на восточном склоне Уральского хребта, где они прослеживаются в меридиональном направлении на протяжении примерно 150 км. Рудный горизонт приурочен к основанию третичных отложений и включает один или два пласта марганцевых руд, мощность которых составляет в среднем 1–3 м, а в раздувах превышает 25 м. В связи с размывом продуктивных отложений первичноокисные руды сохранились лишь на не-

которых месторождениях; на остальных известны только карбонатные руды и продукты их позднейшего окисления.

Марганцевое оруденение месторождения *Оброчиште* приурочено к верхней части глинисто-карбонатных отложений олигоценового возраста, залегающих вдоль черноморского побережья от г. Бяла на юге до государственной границы с Румынией на севере в виде полосы около 20 км.

Рудный горизонт имеет мощность около 11 м, залегает моноклинально с падением на юго-юго-восток и перекрыт неоген-четвертичными отложениями мощностью от нескольких метров до 300 м. В зависимости от минерального состава марганцевые руды месторождения подразделяются на два основных типа: карбонатные (53% запасов), сложенные родохрозитом и манганокальцитом, и смешанные (47% запасов), среди которых, в свою очередь, выделяются силикатно-карбонатные и карбонатно-гидросиликатные, сложенные родохрозитом и марганцевыми гидросиликатами очень непостоянного состава.

Согласно Л. Бауду, разрез продуктивных отложений месторождений *Моанда* в Габоне представляется в следующем виде (сверху вниз):

1. Современные песчано-глинистые отложения с редкими марганцевыми оолитами	10–40 см
2. Глинистые порошкообразные отложения с заметным количеством марганцевых оолитов (диаметр оолитов колеблется от 3 до 6 мм, среднее содержание в них марганца составляет 15%) . .	3–4 м (редко 7 м)
3. Глинистые отложения с большим количеством марганцевых оолитов и конкреций, состоящих в основном из гётита, псиломелана и пиролюзита; содержание марганца в этом слое на отдельных участках достигает 48%	1,1 м
4. Основной рудный пласт, состоящий из трех слоев и сложенный псиломеланом и пиролюзитом. Содержание марганца от 20 до 48% (на отдельных участках до 50–57%), фосфора 0,04–0,13% и серы 0,03–0,09%	3–7 м

Марганцевые руды распространены на обширной территории. Площадь только изученных участков превышает 30 км^2. Запасы разведанных богатых руд, залегающих вблизи поверхности и пригодных для открытой разработки, составляют 200 млн. т., а годовая их добыча превышает 2 млн. т. Общие запасы марганцевых руд этого района оцениваются до 450 млн. т.

Разработка руд ведется на месторождении *Бангомбе;* подготавливается к эксплуатации месторождение *Окума,* мощность рудного пласта которого 5 м при содержании марганца 40–50%. Основной рудный минерал-пиролюзит, образовавшийся из родохрозита или манганита.

Весьма скудные сведения, опубликованные по району месторождений Моанда, далеко не достаточны для решения вопроса о генезисе и возрасте марганцевого оруденения. Если верить приведенному геологическому разрезу (рис. 105), то марганцевые руды образовались позднее современного рельефа.

Следует отметить, что во взглядах на генезис марганцевых руд, в частности кайнозойского возраста, нет единодушия. Если до недавнего

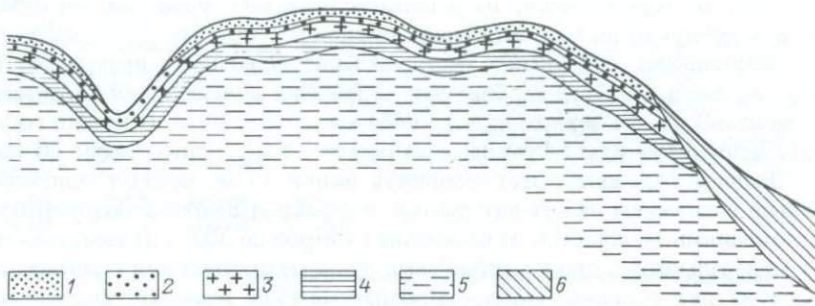


Рис. 105. Схематический разрез месторождения марганцевых руд Моанда *(по Л. Бауду)* :

1 – песчано-глинистые отложения с редкими марганцевыми оолитами; *2* – песчано-глинистые отложения с большим количеством марганцевых оолитов; *3* – глинистые отложения с большим количеством марганцевых оолитов и конкреций; *4* – основной марганцевый пласт; *5* – сланцы и песчаники серии франсвиль; *6* – делювий

времени такие месторождения, как Никопольское и Чиатурское, считались эталонами осадочных рудных месторождений, образовавшихся в условиях мелководного морского бассейна в результате сноса с суши рудного вещества и отложения его в соответствующих фациальных зонах этих бассейнов, то в последнее время усилилась и становится преобладающей гипотеза, предполагающая эндогенный источник рудного материала, поступление которого по трещинам в земной коре непосредственно на дно водных (преимущественно морских) бассейнов приводило к образованию по сути гидротермально-осадочных марганцевых руд.

ХРОМ

Промышленные месторождения хромитов третичного возраста известны только в Азии и Океании и по размерам общих и достоверных запасов значительно уступают докембрийским и палеозойским месторождениям.

Многочисленные месторождения хромитов выявлены в ряде средиземноморских районов проявлений третичной складчатости. Наиболее крупными являются месторождения Турции, которая до 1959 г. занимала первое место в капиталистическом мире по добыче хромитов. Важнейшее значение по запасам и добыче имеют месторождения группы *Гулеман*. Залежи хромитов приурочены к серпентинизированному лополиту первично раздифференцированных основных и ультраосновных пород с богатыми хромитовыми скоплениями в донных частях. Выделяются два типа промышленного оруденения, из которых один проявлен в несерпентинизированных перидотитах, а другой локализуется в антигоритовом серпентините. Между двумя этими типами рудных залежей существует и ряд переходных разновидностей. Развиты преимущественно

массивные руды, которые состоят в основном из магнохромита; среднее содержание в рудах Cr_2O_3 составляет 50–52%, Fe_2O_3 – 10–12%, Al_2O_3 – 13–14%, SiO_2 – 2–3%. Общие запасы руд наиболее крупного месторождения оцениваются до 1,5 млн. т. Запасы отдельных наиболее крупных хромитовых залежей достигают 30 тыс. т.

Широко распространенные и разрабатываемые месторождения хромитов в других районах страны характеризуются более скромными размерами, но также отличаются высоким качеством руд. Доказанные запасы хромитов Турции составляют 36 млн. т при содержании от 30 до 50% Cr_2O_3.

Максимальная добыча хромитов в Турции отмечалась в 1957 г., когда она составила 953 тыс. т; к 1980 г. она снизилась до 420 тыс. т.

Сходные месторождения хромитов известны на о. К и п р, где они приурочены к серпентинитам Троодосского массива ультраосновных пород, датируемого поздним олигоценом. Рудные залежи в форме мелких линз содержат в среднем 38–43% Cr_2O_3. Общие запасы руд не превышают 1000 тыс. т, а годовая добыча их снизилась с 27,7 тыс. т в 1975 г. до 6,9 тыс. т в 1980 г.

Одно из ведущих мест в мире по добыче хромитов принадлежит Ф и л и п п и н а м, которые издавна являются крупнейшим поставщиком огнеупорных хромитов на мировой рынок. Многочисленные месторождения известны почти на всех островах, но наиболее крупные из них расположены на о. Лусон, где по запасам и добыче выделяется месторождение *Масинлок*. Район месторождения сложен комплексом разнообразных основных и ультраосновных интрузивных пород нижнетретичного возраста, перекрытых осадочными отложениями миоцена. Хромиты залегают среди саксонитов вблизи их контакта с оливиновым габбро и образуют вдоль этого контакта пояс длиной 2,4 км. Главная рудная залежь овальной формы сложена преимущественно массивными рудами, в которых содержание Cr_2O_3 местами превышает 48%. Вкрапленные руды примыкают к массивным и представлены серпентинитами или дунитами, включающими многочисленные скопления хромита.

Как на самом месторождении, так и в целом по стране преобладают низкосортные вкрапленные руды с содержанием 29–36% Cr_2O_3, пригодные только для огнеупорной промышленности. Годовая производительность рудника, действующего на базе месторождения Масинлок, превышала 600 тыс. т. В 1980 г. добыча хромитов в стране составила 443 тыс. т. В связи с истощением запасов месторождения Масинлок начато освоение месторождений других районов, в частности района Давау.

Доказанные запасы хромитов в стране составляют 7 млн. т при среднем содержании Cr_2O_3 32%.

В Азии к третичному возрасту относятся многочисленные, но сравнительно мелкие месторождения и проявления хромитов П а к и с т а н а, Я п о н и и и К Н Д Р. В отношении возраста ультраосновных пород, с которыми генетически связаны эти месторождения, в литературе приводятся противоречивые данные, но большинство исследователей склонны относить их формирование к верхнему мелу или к началу третичного

времени. Некоторые месторождения отличаются высоким качеством руд и интенсивно разрабатываются. В Японии годовая добыча хромитов снизилась с 23 тыс. и в 1975 г. до 13,6 тыс. т в 1980 г., а в Пакистане с 20 тыс. до 10 тыс. и. Запасы хромитов в этих странах соответственно составляют 1 и 3 млн. т.

Месторождения хромитов высокого качества, пригодных для металлургического и химического производства, издавна разрабатывались в Новой Каледонии (Франция). Хромитовые залежи приурочены к третичным дунитам и гарцбургитам, от которых они обычно отделены тонкой оторочкой серицитизированных основных пород. Рудные залежи имеют форму крутопадающих штокообразных и жилообразных тел. Наиболее крупная залежь прослеживается по простиранию на 120 м при ширине 40 м. Содержание Cr_2O_3 в массивных рудах колеблется от 45 до 56%, во вкрапленных от 30 до 35%.

Годовая добыча хромитов в Новой Каледонии в 1950 г. достигла 85 тыс. т; в 1939 г. добыто 39 тыс. т. Общие запасы коренных руд оценивались в 1,6 млн. т. Кроме того, на площади около 6 тыс. км развиты многочисленные россыпи хромитов со значительными их запасами. Сведения о добыче хромитов отсутствуют.

АЛЮМИНИЙ (БОКСИТЫ)

К третичному возрасту относится бóльшая часть (не менее 95%) всех ресурсов бокситов капиталистических и развивающихся стран. Крупнейшие месторождения третичных бокситов сосредоточены в странах Западной Африки, Австралии, Южной Америки, Карибского бассейна. Значительные месторождения известны также в Азии. Все они образовались в платформенных условиях, приурочены к латеритным континентальным образованиям и обычно представлены тригидратными гиббситовыми (гидраргиллитовыми) бокситами, наиболее ценными для алюминиевой промышленности.

В странах Карибского бассейна – Ямайке, Гаити и Доминиканской Республике – бокситы являются переотложенными латеритами. Они залегают на эродированной поверхности эоценовых и олигоценовых известняков и покрываются осадочными породами. От бокситов европейских месторождений карибские бокситы отличаются большей мягкостью и пористостью; они хорошо поддаются лопате и легко растираются в порошок.

Наиболее крупными месторождениями этого типа располагает Ямайка, занимающая одно из ведущих мест в мире по добыче бокситов. Бокситы приурочены к закарствованной поверхности третичных карбонатных пород. На возвышенных участках рельефа обнажаются меловые и нижнеэоценовые конгломераты, флишевые образования, различные лавы. Основные месторождения приурочены к чистым известнякам. Форма бокситовых залежей определяется карстовым рельефом поверхности подстилающих их известняков. Некоторые исследователи пола-

гают, что бокситы Ямайки образовались из продуктов латеритного выветривания туфов, которые сносились в депрессии известняков и подвергались затем дальнейшему изменению и десилицификации.

Залежи бокситов Ямайки распространены на огромной площади, и размеры их по простиранию и мощности меняются в широких пределах. В мульде *Вильямсфилд* (округ Манчестер) залежь бокситов прослежена на протяжении 32 км. Мощность залежей иногда достигает 35 м, но в среднем составляет 7,5 м.

Бокситы состоят главным образом из гиббсита с подчиненным количеством бёмита, эти два минерала слагают более 60% всего объема породы. Содержание Al_2O_3 в бокситах составлект 47–52%, SiO_2 0,4–3,5%, Fe_2O_3 около 20%, TiO_2 2,25%, P_2O_5 0,3–2,8%. В незначительных количествах присутствуют ванадий, цинк и хром. В качестве акцессорных минералов встречаются ильменит, пиролюзит, фосфаты алюминия и железа, магнетит, кварц, циркон. Месторождения бокситов отличаются благоприятными горнотехническими условиями, так как залегают непосредственно на поверхности или вблизи от нее.

Месторождения открыты во время второй мировой войны и разрабатываются с 1952 г. В 1960 г. здесь добыто 4198 тыс. т бокситов, что составляло 23% от суммарной добычи их в капиталистических и развивающихся странах. Максимальная добыча была достигнута в 1974 г. (15,3 млн. т), затем она снизилась и в последние годы не превышает 12 млн. т. Общие запасы бокситов Ямайки оцениваются в 2000–3900 млн. т, в том числе доказанные – в 1500 млн. т.

В Южной Америке месторождения бокситов расположены в северной и восточной частях материка, где они приурочены к окраинам Бразильского плато. Бокситоносная полоса начинается в Венесуэле и прослеживается через Гайану, Суринам и Гвиану вплоть до северо-восточной части Бразилии. Бокситы относятся к неогеновому возрасту и представляют собой продукт латеритного выветривания древних метаморфических и интрузивных пород – долеритов, нефелиновых сиенитов, рогово-обманковых гнейсов и различных кристаллических сланцев, а также силикатных осадков. Образование бокситов происходило в типичных платформенных условиях, и, вероятно, сплошной их покров распространялся на огромной площади. В пределах этой площади бокситы сохранились в виде отдельных нашлепок, а чаще в виде линзообразных залежей, перекрытых прибрежными песками, илами и глинами мощностью 60–120 м, а иногда и более. В разрабатываемых месторождениях бокситы залегают на небольших глубинах – не свыше 15–20 м, но нередко обнажаются и на поверхности.

В Гайане бокситоносные районы находятся в северо-восточной части страны, а разрабатываемые месторождения сосредоточены по берегам р. Демерары. Линзообразные и пластообразные залежи бокситов мощностью от 1 до 12 м располагаются на глинах преположительно палеогенового возраста (рис. 106). Типичный разрез пород, слагающих месторождения бокситов, представляется в следующем виде (сверху вниз):

1. Переслаивающиеся пески и глины так называемой серии белых песков . . . . . 0–60 м

2. Кремнистые конгломератовидные бокситы, представленные бокситовыми конкрециями и обломками в твердом глинистом цементе . . . . . 0,3–2,5 м

3. Высококачественные бокситы, в верхней части пронизанные беспорядочной сетью глинистых прожилков . . . . . 3–12 м

4. Остаточные бокситовые глины, пронизанные сетью бокситовых прожилков . . . . . 0,6–3 м

5. Остаточные пластичные каолиновые глины, пестрые и слюдистые, в нижней части местами содержащие кварц. . . . . 15–20 м

6. Граниты, гнейсы или кристаллические сланцы

С каолиновыми глинами бокситы связаны постепенными переходами.

Бокситы относятся к гидраргиллитовому типу и характеризуются высоким качеством. Содержание Al_2O_3 в них составляет 50–61% (местами 64,9–67,3%), SiO_2 2,7–12%, Fe 3% и TiO_2 0,1–5,8%. Общие запасы бокситов оцениваются в 1000 млн. т, в том числе доказанные 700 млн. т. Добыча бокситов в 1975 г. достигла 3,83 млн. т и в 1980 г. снизилась до 3,5 млн. т. Месторождения Гайаны служат основным источником бокситов для канадской алюминиевой промышленности, которая, используя импортное сырье, занимает второе место среди капиталистических стран (после США) по производству алюминия.

Материнскими породами для бокситов Суринама, по-видимому, служили различные по минеральному составу кристаллические сланцы. В остаточных каолиновых глинах, подстилающих бокситовые залежи района Моэнго, заключены многочисленные обломки турмалинсодержащих андалузит-ставролит-мусковитовых сланцев и широко развиты мусковит, кварц, ставролит, андалузит, турмалин, циркон и рутил .

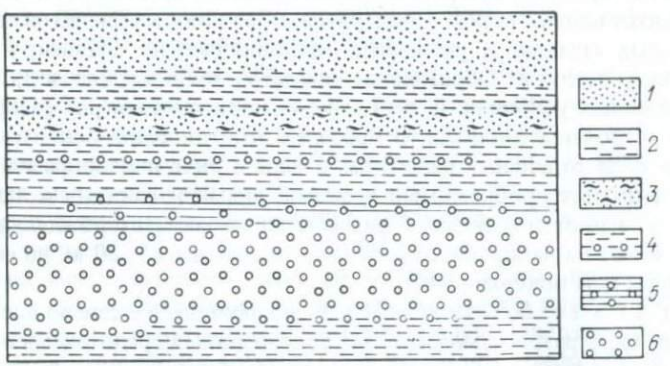


Рис. 106. Типичный разрез бокситовой залежи (Гайана):

1 – пески; *2* – пластичные глины; *3* – пески с лигнитом; *4* – глины с включениями боксита в основании; *5* – кремнистые бокситы и бокситовые глины; *6* – промышленная залежь боксита

Наиболее крупные месторождения бокситов расположены вдоль рр. Суринам, Коттика и Коэрматибо, вблизи от побережья Атлантического океана. Бокситы отличаются высоким качеством; они содержат в среднем 59% Al_2O_3, около 2% SiO_2 и 6,5% Fe_2O_3. Отдельные линзы и пластовые залежи бокситов протягиваются на несколько километров при ширине до нескольких сотен метров и мощности от 2 до 8 м. Большая часть разведанных руд пригодна для открытой разработки; мощность вскрыши колеблется от 3 до 20 м. Добыча бокситов в 1980 г. составила 4,9 млн. т. Общие запасы бокситов Суринама составляют 500 млн. т, из них доказанные 300 млн. т.

Бокситы Гвианы представлены фосфатизированными разностями, технология использования которых еще не освоена. Месторождения не разрабатываются. Общие запасы бокситов оцениваются в 100 млн. т при содержании Al_2O_3 41–60%.

В Бразилии значительные месторождения бокситов сосредоточены на плато Посус-ди-Калдас в штате Минас-Жерайс, где они приурочены к горизонтально залегающим латеритным образованиям третичного и четвертичного возраста. Бокситы содержат 30–65% Al_2O_3, 1–5% SiO_2 и 4–10% Fe_2O_3. Более крупные ресурсы бокситов выявлены в последние годы в бассейне р. Амазонки, где завершена подготовка к разработке месторождения Тромбетас, на базе которого построены обогатительная фабрика, железная дорога, порт и поселок. Предполагалось в 1979 г. добыть 1155 тыс. т руды, содержащей не менее 50% извлекаемого Al_2O_3 и не более 4% SiO_2. В 1980 г. добыто 4,5 млн. т.

Общие запасы бокситов Бразилии оцениваются в 2250 млн. т, а доказанные составляют 1250 млн. т, в том числе 600 млн. т в месторождениях Тромбетас.

В Венесуэле в последнее время открыты новые месторождения на Лос-Пихигуаос, запасы которых предварительно оценены в 10 млн. т руды, содержащей более 50% Al_2O_3.

В пределах Африканского континента крупные ресурсы высококачественных бокситов третичного возраста сосредоточены на территории Гвинеи, Ганы, Сьерра-Леоне, Камеруна и других стран.

Особенно широко распространены бокситы в Гвинее, где многочисленные (более 100) промышленные месторождения известны как на материковой части страны, так и на о. Лос. Месторождения относятся к платформенному латеритному типу и связываются с латеритным выветриванием в палеогене и миоцене нефелиновых сиенитов, граптолитовых сланцев, алевролитов и диабазов. Латериты представлены двумя основными разновидностями: железистыми латеритами и глиноземистыми латеритами, т. е. высококачественными бокситами. Соотношение этих разновидностей весьма изменчиво как по горизонтали, так и по вертикали. Общая их мощность составляет 12–15 м. Бокситы залегают непосредственно на выветрелых породах или отделены от них мощным слоем (9 м и более) пестрых глин и разрушенных пород.

Разрабатываемые залежи бокситов отличаются высоким качеством и содержат в среднем Al_2O_3 54–60%, SiO_2 1–7%, Fe_2O_3 3–12% и TiO_2 до 1,5–4%. Общие запасы бокситов в Гвинее, по последним данным, оцениваются в 8300 млн. т, а доказанные – 500 млн. т. В 1980 г. в Гвинее добыто 12,2 млн. т бокситов. Наиболее крупным представляется район Боке, общие запасы которого оцениваются в 2,2 млрд. т.

Бокситы Ганы образовались в результате латеритного выветривания филлитов (в районе Енахин) и глинистых сланцев (в районе Сефви-Беквай) бирримской серии, а также сланцев и аргиллитов (в районе Эджуанема). Мощность бокситовых покровов достигает 20 м. Наиболее крупные месторождения расположены в районе Енахин, где бокситы содержат Al_2O_3 46–51%, а иногда до 63%. В бокситах района Сефви-Беквай содержание Al_2O_3 колеблется от 52 до 58% (в среднем 51%). Бокситы отличаются низким содержанием кремнезема: в большинстве разрабатываемых залежей оно колеблется от 0,6 до 3%. Общие запасы бокситов Ганы оцениваются в 400 млн. т, а доказанные составляют 65 млн. т.

Несмотря на наличие крупных запасов высококачественных бокситов, уровень их добычи сравнительно невелик; в 1980 г. добыто всего 250 тыс. т.

Ряд месторождений кайнозойских бокситов известен в Малави (в горах Мландже). Здесь бокситы образовались в результате выветривания сиенитов. Руды невысокого качества содержат в среднем 42,7% Al_2O_3, 14% Fe_2O_3 и от 5 до 20% SiO_2.

Промышленные месторождения бокситов открыты и в других странах Африки. Широкое распространение бокситов установлено на территории Камеруна. В районе Минам Мартап содержание Al_2O_3 в бокситах колеблется от 44 до 50% при содержании SiO_2 2–3%. Аналогичные месторождения по качеству руд открыты также в районе Нгаундере. Общие ресурсы бокситов оцениваются в 2000 млн. т.

Месторождения бокситов, содержащих 50–59% Al_2O_3, разведаны в Сьерра-Леоне. Доказанные запасы их составляют 50 млн. т, а годовая добыча превышает 700 тыс. т.

Бокситы сравнительно высокого качества выявлены в Мали, где их запасы оцениваются в 820 млн. т, Заире – 200 млн. т, Мадагаскаре – 150 млн. т, Малави – 60 млн. т и в Анголе – 10 млн. т. Все они приурочены к кайнозойской коре латеритного выветривания.

В Азии наиболее крупные ресурсы кайнозойских бокситов сосредоточены в Индии, Индонезии и Малайзии. Все они образовались в платформенных условиях в результате латеритного выветривания преимущественно основных пород.

В Индии важнейшие месторождения бокситов расположены в штатах Мадхья-Прадеш, Бихар, Мадрас и Бомбей, где они связаны преимущественно с корой выветривания декканских траппов и их туфов (верхний мел и, возможно, частично эоцен). Последние представлены мощной серией горизонтальных базальтовых покровов и пере-

слаивающихся с ними пеплов и туфов. Мощность и состав латеритных образований весьма изменчивы. Встречаются сравнительно крупные залежи высококачественных бокситов мощностью до 4,5–6 м. Широко развиты железистые бокситовые латериты низкого качества, которые используются здесь как строительный материал.

В штатах Орисса и Андхра-Прадеш в последнее время открыт ряд месторождений бокситов, запасы которых, по предварительным данным, оцениваются в 1 млрд. т.

Разрабатываются гидраргиллитовые бокситы с содержанием Al_2O_3 56–63%, TiO_2 8–10% и кремнезема 1,4–2,8%. В 1980 г. добыча бокситов достигла 1,59 млн. т.

Общие запасы бокситов в Индии оцениваются в 1450 млн. т, из них доказанные 700 млн. т.

Наиболее значительные месторождения богатых бокситовых руд Индонезии расположены на о. Бинтан. Руды их содержат 45–55% Al_2O_3, 4% SiO_2, 9–13% Fe_2O_3 и 0,25% TiO_2. Бокситовые месторождения известны также на островах Каджанг, Банка и Синкеп. Общие запасы бокситов Индонезии оцениваются в 75 млн. т, из них доказанные 40 млн. т. В последнее время крупные ресурсы бокситов (1530 млн. т, в том числе 810 млн. т – извлекаемые) выявлены в районе Капуасы (Зап. Калимантан).

Добыча бокситов в Индонезии в 1980 г. составила 1,25 млн. т. Бокситы экспортируют преимущественно в Японию и ФРГ.

Богатые месторождения бокситов (50–60% глинозема), известные на территории Малайзии, расположены в штате Джохор. Они еще недостаточно изучены; общие запасы бокситов оцениваются всего в 45 млн. т, а доказанные в 15 млн. т. В 1980 г. добыча бокситов составила 920 тыс. т.

Крупнейшие ресурсы бокситов кайнозойского возраста выявлены, разведаны и освоены промышленностью в Австралии. По состоянию на начало 1981 г. общие запасы бокситов только выявленных месторождений составляют 4400 млн. т, в том числе 2700 млн. т доказанных запасов. Основные месторождения сосредоточены на севере страны, где в пределах полуострова Кейп-Йорк (Северный Квинсленд) промышленные залежи высококачественных бокситов распространены на площади около 800 км^2. Они приурочены к кайнозойской коре выветривания, развитой на породах свиты уэйпа, представленной аргиллитами, алевритами и аркозовыми песчаниками. Бокситы относятся к гиббсит-бёмитовому типу и представляют собой горизонтальные или слабонаклонные залежи мощностью 1–9 м, перекрытые песками, глинами и илами третичного возраста. Выделяются две основные продуктивные зоны; верхняя представлена бокситами и ясно выраженной пизолитовой структурой, а нижняя состоит из желваков, пизолитов, неправильных железорудных конкреций и обломков частично бокситизированных песчаников и алевролитов, сцементированных красной, коричневой и серой песчанистой глиной. Содержание в бокситах Al_2O_3 составляет 50–52%, SiO_2 – 2,0–6,0%, Fe_2O_3 – 10–13%. Месторождения

бокситов, приуроченные к кайнозойской коре выветривания, разрабатываются в ряде других районов Австралии. Добыча бокситов возросла с 29 тыс. т в 1962 г. до 27,2 млн. т в 1980 г.

Залежи бокситов открыты также на Гавайских островах. Образование их связывается с выветриванием оливиновых базальтов, в результате разложения которых образовались гиббситовые (гидраргиллитовые) разности бокситов. Общие запасы бокситов сугубо ориентировочно оцениваются в 600 млн. т. Из-за сравнительно низкого качества бокситы не используются.

В США главные месторождения бокситов сосредоточены в районе Береговых равнин в штате Арканзас и приурочены к зоне латеритного выветривания крупных массивов нефелиновых сиенитов. Бокситы в форме пластообразных залежей и гнезд залегают на эрозионной поверхности этих пород. По времени образования они относятся к эоцену. Площадь отдельных залежей колеблется от 0,3 до 16 га. Мощность их изменяется от нескольких сантиметров до 15–18 м, составляя в среднем 3,5 м. Наряду с латеритными встречаются вторичные, переотложенные бокситы. Содержание Al_2O_3 в рудах колеблется от 46 до 59%, SiO_2 – от 5,5 до 24,9%, Fe_2O_3 – от 2 до 4,8%. Значительная часть залежей пригодна для открытой разработки.

Общие запасы бокситов в США невелики и оцениваются всего в 140 млн. т, а доказанные в 40 млн. т. Добыча их в 1980 г. составила 1,6 млн. т и примерно на этом уровне сохранилась в последние годы. Будучи самым крупным среди капиталистических стран производителем алюминия (более 40%), США являются одновременно основным импортером бокситов, которые они завозят главным образом из Ямайки, Суринама и Гайаны. Производство первичного алюминия в США достигло в 1980 г. 4,2 млн. т.

К третичному возрасту относится также часть бокситовых залежей, развитых в пределах Средиземноморской геосинклинали. Особенно широко они распространены в Югославии, на территории Истрии, Далмации, Герцеговины и Черногории, где бокситоносность характерна почти для всего разреза третичных отложений от палеоцена до олигоцена. Наибольший промышленный интерес представляют месторождения Далмации, сосредоточенные в приморской полосе. Залежи бокситов относятся к карстовому типу и приурочены к контакту нуммулитовых и альвеолиновых известняков. Содержание Al_2O_3 в бокситах колеблется от 48 до 64%, SiO_2 – от 0,8 до 4%. В 1979 г. в Югославии добыто 3 млн. т бокситов и выплавлено 189,5 тыс. т алюминия.

В пределах СССР кайнозойские бокситы распространены сравнительно ограниченно.

К палеоцену относятся некоторые месторождения бокситов в Западной Сибири и Красноярском крае. В пределах Русской платформы третичные бокситы образовались в области Украинской кристаллической полосы, где ряд месторождений бокситов приурочен к основанию песчано-глинистой толщи бучакского яруса эоцена. Обычно бокситы за-

легают непосредственно на коре выветривания докембрийских пород и сложены в основном гидраргиллитом, иногда в смеси с бемитом.

Известные в мире третичные месторождения бокситов, так же, как и более древние их месторождения, в зависимости от типа подстилающих пород делятся на две основные группы. В месторождениях первой группы бокситы залегают на различных изверженных и метаморфических породах, богатых алюмосиликатами, а в месторождениях второй группы они подстилаются известняками и доломитами, т. е. породами, практически не содержащими глинозема. Однако вопрос об источниках обеих групп решается однозначно – это материал латеритного выветривания алюмосиликатных пород, залегающих in situ для первой группы и переотложенный для второй группы.

К первой группе относятся все латеритные бокситы, в том числе месторождения Гайаны, Суринама, Бразилии, Гвинеи, Ганы, Индии, Австралии, штата Арканзас в США и др. Бокситы этих месторождений представляют собой конечный продукт субаэрального выветривания алюмосиликатных пород в условиях тропического или субтропического климата с перемежающимися засушливыми и дождливыми сезонами. В ходе этого процесса происходит выщелачивание пород и вынос из них щелочей, щелочных земель и кремнезема и относительное накопление глинозема, оксидов железа и титана.

По мнению ряда исследователей, проявляется и некоторое абсолютное обогащение глиноземом за счет его вертикального и горизонтального перемещения в коллоидных и истинных растворах.

Бокситообразование в большой степени зависит от характера рельефа. Наиболее интенсивно латеритизация протекает в условиях пенепленизированной суши, где продукты разрушения долго сохраняются на месте. Другим весьма важным условием является первоначальная пористость пород, допускающая проникновение в них грунтовых вод, которые обычно содержат кислоты или щелочи.

Весьма характерны для месторождений первой группы постепенные переходы от неизмененных материнских пород через их выветрелые разности к высококачественным бокситам, часто сохраняющим реликтовую структуру первичных пород. Особенно отчетливо такие реликтовые структуры проявляются в бокситах, развитых на нефелиновых сиенитах. В этих бокситах часто находят обломки и глыбы неизмененных нефелиновых сиенитов, а в самих нефелиновых сиенитах вблизи их контакта с бокситами наблюдают развитие гиббсита в зернах – разложенного нефелина.

Среди бокситов иногда встречаются пластообразные или линзообразные залежи каолиновых глин, которые, судя по условиям их залегания, являются продуктами разложения жил или ксенолитов пород более кремнистого состава, чем заключающие их нефелиновые сиениты. В месторождениях Арканзаса между бокситами и неизмененными нефелиновыми сиенитами располагается промежуточная толща каолиновых глин, которые рассматриваются как продукт разло-

жения нефелиновых сиенитов при обычном выветривании после прекращения процесса бокситизации.

Качество бокситов в месторождениях латеритного типа в значительной степени зависит от минерального состава первичных пород, за счет которых они образовались. При изменении пород среднего и основного состава, например диоритов, диабазов, долеритов, габбро и т. п., образуются преимущественно железистые латериты. При высоком содержании в бескварцевых основных изверженных породах известково-натриевых полевых шпатов и других алюмосодержащих минералов могут образоваться в зависимости от интенсивности процесса латеритизации как глиноземистые латериты (низкосортные бокситы с высоким содержанием гидроксидов железа), так и высококачественные бокситы. Для формирования последних необходимы более благоприятные условия латеритизации, обеспечивающие удаление кремнезема.

Особенно благоприятны для образования высококачественных бокситов породы, богатые щелочами, — нефелиновые сиениты, лейциты, фонолиты, анальцимовые породы и др. При выветривании в условиях тропического или субтропического климата эти породы обнаруживают весьма высокую растворимость, и в связи с отсутствием в них кварца неразложенными остаются только рассеянные акцессорные минералы. Даже в районах умеренного климата обычные грунтовые воды легко растворяют щелочи (и в несколько меньшей степени щелочные земли) и переносят их на значительные расстояния. В благоприятных условиях латеритного выветривания в раствор переходит также кремнекислота освободившихся при разложении первичных силикатов.

Ко второй группе месторождений бокситов, приуроченных к известнякам и доломитам, относятся позднетретичные железистые бокситы Ямайки, Гаити и Доминиканской Республики, мезозойские и нижнетретичные бокситы Западной Европы, а также девонские бокситы Урала. В отношении генезиса этих бокситов существуют различные точки зрения, и до настоящего времени вопрос об источниках глинозема и железа остается спорным. Большинство исследователей считают, что и бокситы второй группы месторождений в конечном счете генетически связаны с процессами латеритизации как основными факторами образования свободного глинозема и оксидов железа.

Одни исследователи сопоставляют бокситы с терра-росса, рассматривая их как элювиальный продукт субаэрального выветривания. Считают, например, что при химическом растворении мощной толщи карбонатных пород образуется нерастворимый, в основном глинистый осадок, который частично уносится, а частично отлагается на неровной закарстованной поверхности карбонатных пород. Позднее в результате летеритного выветривания за счет этого глинистого остатка образуются промышленные залежи бокситов, качество которых находится в прямой зависимости от состава первичного нерастворимого остатка.

Другие исследователи, придерживаясь летеритной теории формирования бокситов, не считают их элювиальными образованиями и допускают возможность переноса продуктов латеритного выветривания

даже на большие расстояния и отложения их в карстовых формах рельефа. Так, источниками глинозема и железа для бокситов Ямайки считаются развитые в этих областях туфогенные образования и андезиты. Продукты выветривания этих пород сносились и отлагались в карстовых депрессиях и в условиях тропического саванного климата превращались в терра-росса и бокситы. Бокситы Истрии, содержащие закисные соединения железа и пирит, могли образоваться только в восстановительной среде. Поэтому считают, что их формирование происходило в углублениях морского дна, в условиях сложной береговой линии, за счет обогащенного глиноземом элювиального материала, который мог сноситься с выступов, сложенных известняками.

Бокситы Франции считаются продуктами золового переноса в мезозойское время, когда влажный жаркий климат, господствовавший в области современного Центрального массива и способствовавший глубокому химическому выветриванию пород, сменился засушливым периодом.

МЕДЬ

Значительная часть мировых ресурсов меди (более 50%) сосредоточена в месторождениях прожилково-вкрапленных меднопорфировых руд кайнозойского возраста. Расположение их контролируется подвижными зонами, опоясывающими Тихий океан (Тихоокеанский пояс), а также протягивающимися от Карибских островов через Средиземное море, Южную Европу, Балканский полуостров, Закавказье (Армению), Турцию, Иран, Пакистан, Индию, Юго-Восточный Китай, Индокитай, Индонезию, Филиппинские острова, Папуа-Новую Гвинею и, вероятно, в Австралию.

Месторождения меднопорфировых руд, хотя и отличаются от всех других типов месторождений меди более низким содержанием полезных компонентов, но приобрели в последнее время большое экономическое значение в связи со значительными масштабами минерализации и возможностью разработки открытым способом в крупных полностью механизированных карьерах. Разработка их обеспечивает бóльшую часть мировой выплавки меди и значительную часть производства молибденовых концентратов.

По оценке А. Сутулова, общие (установленные) мировые (без СССР) запасы меди составляют 346 млн. т, в том числе в меднопорфировых рудах 230 млн. т (66,7 %), соответственно в Чили 78 из 82 млн. т (95 %), США 78 из 91 млн. т (85 %), Перу 19 из 23 млн. т (83 %) и Канаде 14 из 23 млн. т (61%). В суммарной добыче меди меднопорфировые руды составляют более 50%, в Чили 94%, США 90% и Перу 63%. К началу 1982 г. общие запасы меди капиталистических и развивающихся стран возросли до 477 млн. т.

Меднопорфировые (включая медно-молибденовые) месторождения пространственно и генетически тесно связаны с умеренно кислыми

интрузиями порфирового облика, формирующимися в орогенный этап развития складчатых областей. Оруденелыми являются как сами порфировые интрузии (преимущественно в апикальных частях), так и вмещающие их интрузивные, в меньшей мере – эффузивные породы, подвергающиеся в различной мере гидротермальным изменениям, вплоть до перехода их во вторичные кварциты. Рудоносные интрузии часто ассоциируют с андезитами, непосредственно вмещающими месторождения в ряде районов.

Гидротермальные изменения часто носят зональный характер: в центре – калий, а к периферии – последовательное развитие кварца, серицита, аргиллизация (кварц – каолин – монтмориллонит) и пропилитизация (эпидот – кальцит – хлорит); зона пропилитизация прослеживается на расстоянии не более 1 км от оруденения.

Оруденение меднопорфировых месторождений, представленное рассеянной вкрапленностью рудных минералов или сложной сетью тончайших жилок, образующих штокверки, обычно локализуется в апикальных частях интрузивных тел или располагается на контакте их с вмещающими породами. Оруденелые участки, как правило, приурочены к зоне наиболее интенсивного проявления тектонических нарушений.

Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, халькозин, борнит, ковеллин, молибденит, реже встречаются галенит и сфалерит. У поверхности развита зона окисления, глубина которой колеблется от нескольких метров до 40–50 м. В зоне окисления большая часть минералов меди представлена малахитом и азуритом, а вместо молибденита присутствует молибдит.

Меднопорфировые месторождения являются также важным источником золота, серебра и рения. Около 70% руды локализуется в интрузии, около 30% – во вмещающих ее породах. Среднее содержание меди в рудах отдельных месторождений изменяется от 0,3 до 1,7%, более типично 0,9–1,0, в среднем – 0,8%. Более низкие содержания меди (0,2–0,3%) осваиваются промышленностью при повышенном содержании молибдена (сотые доли процента), золота и других полезных компонентов. В зоне первичных руд содержание меди не превышает обычно 0,45%, а в зоне вторичного сульфидного обогащения, обычно представленной халькозиновыми рудами, в зависимости от обстановки, может колебаться от одного до нескольких процентов.

Меднопорфировые месторождения отличаются крупными размерами в плане – 2–3 км и значительной протяженностью на глубину – до 700 м и более, форма их преимущественно грубо изометричная. Часто характер оруденения изменяется последовательно от вкрапленности, через зону развития тонких прожилков (трещинки выполнения), жилок и до отдельных структур на периферии, которые могут содержать богатое оруденение. Обычным является образование брекчиевых трубок и сопровождающих их зон трещиноватости. Запасы руд большинства месторождений находятся в пределах 50–500 млн. т, в среднем около 140 млн. т. По масштабу оруденения (более 1000 млн. т руды)

выделяются месторождения Чукикамата, Эль-Тениенте, Бингем, Моренси, Сан-Мануэль, Серро-Колорадо, Саффорд. Существует множество толкований о происхождении рудных районов концентраций месторождений меднопорфировых руд. Этому вопросу много внимания стали уделять в последнее время в связи с развитием различных гипотез глобальной тектоники, совпадением границ орогенических поясов размещения месторождений с границами основных плит литосферы.

Большинство ресурсов меднопорфировых руд сосредоточено в пределах Тихоокеанского пояса, который в виде узких протяженных региональных зон прослеживается параллельно западному побережью Южной, Центральной и Северной Америки и включает многочисленные месторождения Перу, Чили, Аргентины, Эквадора, Колумбии, Панамы, Мексики, западных штатов США (Аризона, Нью-Мексико, Юта, Невада, Монтана) и провинции Британская Колумбия в Канаде. Обычно месторождения имеют сходное геологическое строение и минеральный состав руд. В США и странах Латинской Америки они связаны с третичными и меловыми (ларамийскими) гипабиссальными интрузиями кварцевых монцонит-порфиров, гранит-порфиров и других пород, в Канаде – с мезозойской интрузивной деятельностью.

Наиболее значительные ресурсы меднопорфировых руд сосредоточены в Чили, где из 11 крупных месторождений по масштабу минерализации и высокому содержанию полезных компонентов особенно выделяются *Чукикамата* и *Эль-Тениенте,* в которых сосредоточено более 75% запасов меди страны.

Месторождение *Чукикамата* (рис. 107), открытое в 1915 г., расположено в пустыне Атакама, примерно в 140 км от Тихоокеанского побережья, на высоте около 2000 м над уровнем моря. Оно приурочено к зоне интенсивного нарушения и дробления в дайкообразном массиве кварцевых порфиров, заключенном в гранодиоритах. Кварцевые порфиры, так же как и гранодиориты, сильно окварцованы и серицитизированы и местами нацело превращены во вторичные кварциты, в которых только изредка сохраняется реликтовая структура материальных пород. Оруденение прослеживается в длину более чем на 3500 м при ширине от 600 до 1000 м. На глубине 1100 м ниже поверхности вскрыты руды, содержащие 1,3–1,9% меди, а во многих пробах 2,1–2,3%.

Первичные руды представлены пиритом, энаргитом и халькопиритом. На месторождении глубоко проявились процессы вторичного обогащения, обусловившие образование богатых халькозиновых руд, содержащих 3,5–4% меди. В зоне окисления, которая формировалась в условиях чрезвычайно сухого климата, главными медными минералами являются антлерит, хальколит и кренкит. На месторождении уже добыто более 13 млн. т меди, а оставшиеся ресурсы руд оцениваются более чем в 10 млрд. т при среднем содержании меди 0,56% (58,3 млн. т меди). В добываемых рудах преобладают окисленные разности, которые перерабатываются гидрометаллургическим методом. Месторождение разрабатывается открытыми горными работами.

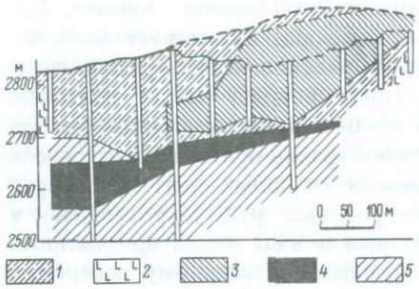


Рис. 107. **Разрез месторождения Чукикамата** *(по А. Тэйлору)*:

1 – выщелоченные пустые породы; *2* – гранодиориты; *3* – окисные руды; *4* – смешанные руды; *5* – сульфидные руды

Производительность горнорудного предприятия в сутки составляет 60 тыс. т руды, годовая – 20 млн. т, выпуск меди – 300 тыс. т, молибдена – 2,5 тыс. т при содержании этих металлов соответственно 2,0 и 0,037% (извлечение их 80 и 40%). Содержание в одноименных концентратах меди составляет 50%, молибденита 92%.

Не менее крупным является месторождение *Эль-Тениенте*, расположенное на высоте 2800–3000 м. Оно приурочено к кратеру вулкана (до 1000 м в поперечнике), выполненному эоценовыми туфами и андезитовыми лавами, интрудированными дайками дацита. Вдоль стен жерловины андезиты интенсивно раздроблены, трещины выполнены кварцем, турмалином, пиритом, борнитом и халькопиритом, менее развиты энаргит, блеклые руды, молибденит и гюбнерит. В существенном количестве присутствует халькозин супергенного происхождения.

В зоне окисления, глубина которой достигает 150 м, развиты лимонит, вторичный гематит, азурит, малахит, куприт, самородная медь.

Рудное поле имеет форму полой трубки, падающей вертикально. Внутренний диаметр ее составляет около 800 м при ширине кольцевой полосы до 600 м. Буровыми скважинами оруденение прослежено до глубины 1600 м, и на этой глубине признаки выклинивания залежи не установлены.

Считают, что минерализация происходила в два этапа. С первым этапом связывают отложение кварца, пирита, борнита и халькопирита, обусловивших образование убогого прожилково-вкрапленного оруденения, со вторым – турмалинизацию пород и образование основной массы халькопирита и молибденита. Общие ресурсы руд оцениваются в 8,4 млрд. т при среднем содержании меди 0,68%.

Общие запасы меди месторождения Эль-Тениенте составляют 43,9 млн. т и молибдена 1,14 млн. т. Годовая добыча достигает 20 млн. т руды, выпуск меди – 280 тыс. т и молибдена – 2,4 тыс. т при содержании этих металлов в добытых рудах 1,85 и 0,04%; извлечение 83 и 42%. Содержание в одноименных концентратах меди составляет 40%, молибдена 55%.

По месторождениям Чукикамата и Эль-Тениенте подсчитаны также запасы меди в бедных ныне забалансовых рудах, которые в буду-

щем могут использоваться при попутной добыче для кучного выщелачивания. По Чукикамате запасы меди составили 40,7 млн. т при ее содержании в руде 0,46% и соответственно Эль-Тениенте – 12,9 млн. т при 0,30%.

В районе *Эль-Абра* в 40 км от Чукикаматы на высоте 4000 м над уровнем моря открыто новое, выходящее на поверхность месторождение. Оруденение прослежено скважинами на глубину до 500 м. Прогнозные запасы руд оцениваются в 1500 млн. т при содержании 0,8–1,0% меди. До глубины 80–150 м руды окисленные, а ниже, до глубины 500 м – массивные сульфидные. Проектная мощность рудника 300 тыс. т меди в год.

Суммарные достоверные запасы меди других разведанных месторождений меднопорфировых руд Чили (Эль-Абра, Эль-Сальвадор, Лас-Паламарес, Рио-Бланко, Диспутада, Мантос Бланко и др.) составляют 24,5 млн. т и молибдена 300 тыс. т. На начало 1981 г. общие запасы меди в Чили оцениваются в 100 млн. т, а доказанные в 97 млн. т при содержании ее в руде 0,6–3,5%. В 1980 г. произведено 1068 тыс. т меди в концентрате.

Открытые в последнее время в южной части П е р у крупные месторождения меднопорфировых руд являются как бы продолжением медной провинции Чили дальше к северу и доводят ее общую длину до 2400 км. По размерам запасов здесь выделяется месторождение Куахоне (430 млн. т руды, содержащей в среднем 1% меди и 0,03% Мо). На базе месторождения сооружены карьер и обогатительная фабрика суточной мощностью 40 тыс. т руды, что обеспечивает годовой выпуск 750 тыс. т концентратов, содержащих около 140 тыс. т меди, а также соответствующее количество молибденовых концентратов.

Сходным по масштабу оруденения представляется месторождение *Мичикушллей*, расположенное в 200 км от Тихого океана, на высоте 3200 м. Запасы его исчисляются в 435 млн. т руды, содержащей 0,75% меди. Запасы молибдена в этих рудах оцениваются в 150 тыс. т.

В эксплуатируемом с 1960 г. месторождении *Токепала*, генетически связанном с нижнепалеоценовой интрузией дацитового порфира (59 млн. лет), разведанные запасы руды к началу разработки составляли 410 млн. т, а остающиеся оцениваются в 238 млн. т при среднем содержании меди 0,88% и молибдена 0,04%. Годовая добыча руды достигает 80 млн. т, выпуск меди 150 тыс. т, молибдена 750 т при содержании этих металлов в добытой руде 1,1 и 0,018%, извлечении их 85 и 37%. Содержание в одноименных концентратах меди составляет 32% и молибдена 87%. Крупными запасами меди характеризуются месторождения *Серро-Верде* (2750 тыс. т), *Морокоча* (2700 тыс. т) и *Келлавеко* (220 тыс. т).

Общие запасы меди в стране, в основном заключенные в меднопорфировых рудах, оцениваются в 32 млн. т, а доказанные – в 26 млн. т при содержании металла 0,5–3%. Производство меди в концентрате в 1980 г. достигло 366 тыс. т.

Широко распространенные в С Ш А месторождения порфировых

руд расположены в юго-западных штатах: Юта, Нью-Мексико, Аризона и Невада. Они составляют основу медных ресурсов страны (более 75%), и их удельный вес в добыче меди и попутно извлекаемого молибдена значителен. Пространственно и генетически месторождения связаны с гипабиссальными интрузиями кварцевых монцонит-порфиров и гранит-порфиров, абсолютный возраст которых 37–70 млн. лет, т. е. соответствует палеоцену.

Руды обычно отличаются комплексным составом. В разрабатываемых залежах среднее содержание меди составляет 0,4–1,6%, молибдена 0,01–0,04%, золота 0,6 г/т и серебра 5–6 г/т. В качестве общей закономерности отмечают, что обычно чем выше содержание меди в рудах, тем ниже содержание молибдена. В первичных рудах содержание меди составляет 0,2–0,6%, и единственный медный минерал в них – халькопирит. Главную ценность представляют руды зоны вторичного сульфидного обогащения, в которых среднее содержание меди составляет около 1% или немного более. В отдельных участках содержание меди в руде достигает 1,5–2%. Зона вторичного обогащения, в которой из медных минералов преобладают халькозин, ковеллин и борнит, распространяется до глубины 150–200 м, реже 250 м.

По размерам запасов и добычи самым крупным месторождением в США является *Бингем,* открытое в штате Юта в 1906 г. Медно-молибденовая минерализация месторождения приурочена к северо-восточной эндоконтактной части штока сильно раздробленных, окварцованных и серицитизированных монцонит-порфиров. Возраст оруденения определен в 37 млн. лет, т. е. верхнемиоценовый. Рудная залежь овального сечения прослежена в длину примерно на 1800 м при ширине 1200 м. Зоной трещиноватости, падающей под углом 45° в северо-западном направлении, она разделяется на две части, при этом наиболее богатое оруденение оказывается в висячем боку (над трещинной зоной), где монцониты наиболее интенсивно раздроблены и гидротермально изменены. Глубина зоны окисления колеблется от 6 до 50 м, зона вторичного обогащения прослеживается до глубины 250 м, а глубина распространения первичных сульфидных руд превышает 500 м.

Запасы меди в 1945 г. оценивались в 3720 тыс. т при среднем содержании металла в руде 1,07%. После произведенного пересчета по новым кондициям (при бортовом содержании 0,4% меди) запасы руд составили 1,4 млрд. т при среднем содержании меди 0,7% (10 млн. т меди и 750 тыс. т молибдена). Годовая добыча руд достигла 35 млн. т, выпуск меди – 350 тыс. т и молибдена – 6,5 тыс. т, при содержании этих металлов в добываемых рудах соответственно 0,69 и 0,03%. Сквозное извлечение меди составляет 90%, молибдена – 56%. В одноименных концентратах содержание меди составляет 30%, молибденита – 90%. Попутно с медью из руд извлекаются молибден, золото и серебро.

В юго-западной части рудного поля месторождения Бингем, в основном в роговиках и скарнах экзоконтакта, развиты полиметаллические руды (участок Лест Ченс). Содержание свинца в них колеб-

лется от 2 до 11%, цинка от 0 до 10%. Кроме того, в рудах присутствует значительное количество серебра и золота. За все время на месторождении добыто более 1,5 млрд. т руды, из которой извлечено около 11 млн. т меди, 2,2 млн. т свинца, 200 тыс. т молибдена, 8 тыс. т серебра и порядка 450 т золота. Глубина карьера достигла 800 м.

Запасы меди второго по масштабу минерализации месторождения *Сан-Мануэль*, открытого в Аризоне в 1956 г., составляют 7,5 млн. т, молибдена – 150 тыс. т. Годовая добыча руд на месторождении достигла 62 тыс. т в сутки, а годовой выпуск меди – 180 тыс. т и молибдена – 2,5 тыс. т при среднем содержании в добытой руде меди 0,69 и молибдена 0,015% и их извлечении 92 и 70%. Сходное место в стране по добыче меди принадлежит месторождению *Моренси*, открытому в Аризоне в 1942 г. Запасы меди месторождения составляют 4,4 млн. т, молибдена 35 тыс. т. Годовая добыча руды достигает 18 млн. т и выпуск меди 180 тыс. т при содержании его в добытой руде 0,83% и извлечении 75%. В последнее время в Аризоне разведано месторождение *Саффорд* с запасами руд, превышающими 2 млрд. т при содержании меди до 0,4%.

Из 30 разведанных в США месторождений меднопорфировых руд разрабатываются 23, годовой выпуск меди на которых снизился с 1457 тыс. т в 1976 г. до 1181 тыс. т в 1980 г. при среднем содержании в добытых рудах этих металлов соответственно 0,74 и 0,01%.

В разработку вовлекаются все большие месторождения с относительно низким содержанием меди. Так, начата эксплуатация месторождения *Сьеррита*, открытого в 1970 г. в штате Аризона. Разведанные запасы меди составляют 1,5 млн. т; годовая добыча руд достигла 26 млн. т, выпуск меди – 70 тыс. т, молибдена – 5,8 тыс. т при среднем содержании этих металлов в добытых рудах соответственно 0,29 и 0,03%; сквозное их извлечение 85 и 67%. В одноименных концентратах содержание меди составляет 26% и молибденита 87%.

Общие запасы меди в стране составляют 100 млн. т, а доказанные – 92 млн. т при содержании 0,5–0,7%.

В Мексике, на южном продолжении медно-молибденового пояса США, разведано три месторождения меднопорфировых руд, из которых одно разрабатывается (Кананея) и два (Ла Каридад и Ла Верде) подготавливаются к эксплуатации. Оруденение генетически связывается с малыми интрузиями гранодиоритов и монцонит-диоритов, возраст которых соответственно составляет 64 ± 3 млн. и 69 ± 1 млн. лет. Запасы руд *Кананея* составляют 1700 млн. т при среднем содержании меди 0,7% (11,9 млн. т) и 0,005% молибдена. Годовая добыча руды достигает 15 млн. т, извлечение меди 88% и выпуск металла 80 тыс. т.

Более крупными масштабами оруденения отличается месторождение *Ла-Каридад*, запасы руд которого оцениваются в 700 млн. т при содержании меди 0,7% (53 млн. т) и 0,016% молибдена. Для его освоения, включая вскрышные работы, добычу, строительство обогатительной фабрики и металлургического завода, потребуется более 3000 млн. долл. Сравнительно небольшими запасами располагает место-

рождение *Ла-Верде*, запасы руд составляют 80 млн. т при содержании меди 0,7%. Начаты подготовительные работы по его освоению. Суточная добыча открытым способом составит 15 тыс. т и обеспечит годовой выпуск меди 34 тыс. т, 43,4 кг золота и 12 т серебра.

Месторождения меднопорфировых руд разведуются в Аргентине, Эквадоре, Колумбии, Пуэрто-Рико и Панаме. В Аргентине наиболее интересным в практическом отношении представляется месторождение *Эль-Пачон*, расположенное на высоте 3900 м и приуроченное к кварц-диоритовой интрузии. Запасы руд составляют 792 млн. т при среднем содержании меди 0,6% и молибденита 0,016%. Предполагают, что месторождение продолжается на территории Чили. Эксплуатация его будет начата в 1984 г. Затраты на подготовительные работы и строительство сооружений, включая электролизный завод мощностью 100 тыс. т, составляет 1 млрд. долл. От месторождения уже продолжена железнодорожная ветка до г. Ла-Хунта.

Крупные месторождения выявлены в последнее время в Панаме. Они еще слабо изучены; по предварительным данным, суммарные их запасы оцениваются более 2 млрд. т руд, содержащих в среднем по отдельным месторождениям от 0,6 до 1,0% меди.

В 1970 г. открыто месторождение *Серро-Колорадо*, общие запасы руд которого составляют 2,3 млрд. т при среднем содержании меди 0,75% и молибдена 0,004%. Руды локализуются в гранодиоритах и диоритах, а также во вмещающих их андезитах. Возраст оруденения определен в 5–6 млн. лет, а супергенного сульфидного его обогащения – в 4,21–2,98 млн. лет. Промышленные руды прослежены до глубины 620 м. Глубина зоны окисления достигает 120 м, широко представлена зона вторичного обогащения руд, запасы которых составляют 86 млн. т при среднем содержании меди 1,1%. Считают, что освоение месторождения продлится 4–5 лет и потребует затрат около 700 млн. долл. Годовая продукция черновой меди первоначально составит 186 тыс. т с последующим увеличением до 400 тыс. т.

В Пуэрто-Рико разведано три месторождения с суммарными запасами в 243 млн. т руды, содержащей 0,73% меди.

Многочисленные месторождения меднопорфировых руд выявлены в других прибрежных районах Тихого океана, особенно на Филиппинах, где пять месторождений среднемиоценового возраста уже освоены промышленностью и обеспечивают годовой выпуск меди в концентратах 150–160 тыс. т при суточной добыче 120 тыс. т руды. Суммарные запасы руд оцениваются в 1185 млн. т, меди 6,3 млн. т. Среднее содержание меди в разрабатываемых рудах колеблется от 0,38 до 0,79%. Попутно с медью извлекаются золото и серебро. Подготавливается к разработке еще ряд месторождений. В 1976 г. начата эксплуатация месторождения *Кармен* с запасами 267 млн. т руды, содержащей 0,44% меди. Суммарные затраты на его освоение составили 80 млн. долл. Проектная мощность обогатительной фабрики – 35 тыс. т/сут.

Меднопорфировые руды кайнозоя разведаны также в Малайзии, где подготавливается к эксплуатации месторождение *Мамут*,

расположенное на о. Калимантан. Общие запасы его руд составляют 190 млн. т при содержании меди 0,58%, цинка 0,3% и золота 0,67 г/т. Оруденение приурочено к штокам диоритовых порфиритов и гранодиоритов, прорывающих серпентинизированные перидотиты и пироксениты постплиоценового возраста. По проекту годовой объем добычи составил 7 млн. т руды, а производство меди в концентратах – 38 тыс. т. Сравнительно небольшое месторождение меднопорфировых руд в последнее время разведано в Индонезии.

Среди месторождений меднопорфировых руд, открытых в Океании, в пределах Папуа-Новой Гвинеи, по размерам запасов выделяется месторождение *Пангуна*, расположенное на о. Бугенвиль. Запасы его составляют 900 млн. т руды, содержащей 0,48% меди, до 0,04% молибдена, 0,51 г/т золота и около 1,5 г/т серебра. Месторождение разрабатывается открытым способом; суточная добыча превышает 80 тыс. т руды. В 1980 г. добыто около 35 млн. т руды и получено 197,5 тыс. т меди в концентрате, примерно 20 т золота и 45 т серебра. Оруденение связывается с комплексом малых интрузий кварцевых диоритов и гранодиоритов, абсолютный возраст которых определен в 4–7 млн. лет.

Общие запасы другого меднопорфирового месторождения *Ок-Теди* оценены в 360 млн. т руды, содержащей 0,8% меди, 0,012% молибдена, 0,62 г/т золота и 1,3 г/т серебра. Предполагают, что месторождение можно разрабатывать открытым способом с суточной мощностью карьера 30 тыс. т. В течение первых двух лет работы рудника можно будет получать около 95 тыс. т меди в концентрате и 7,46 т золота в год. В дальнейшем производство меди постепенно снизится до 70 тыс. т. Концентраты будут отгружаться в Японию. Расходы на осуществление проекта оцениваются в 470 млн. долл. Ввод в строй предприятия намечался на 1979 г.

Запасы руд месторождения *Фред-Ривер* оцениваются в 366 млн. т руды с содержанием меди 0,45% и золота 0,31 г/т, месторождения *Андерра* – соответственно 340 млн. т, 0,42% и 0,1 г/т.

В пределах восточной части Средиземноморского (альпийского) рудного пояса по масштабам промышленного оруденения выделяется месторождение *Сар-Чешмех*, разведанное и осваиваемое промышленностью в Иране. Оно приурочено к штоку гидротермально-измененных гранодиоритов олигоцен-миоценового возраста, внедрившемуся в толщу тонкозернистых туфов и лав андезитов палеогена. Достоверные запасы богатых руд до глубины 150 м превышают 300 млн. т при среднем содержании 1,2% меди, из них 25 млн. т, содержащих в среднем 2%. Кроме того, бурением до глубины 240 м вскрыты низкосортные руды, запасы которых оцениваются в 450 млн. т. Месторождение может разрабатываться открытым способом, годовая выплавка черновой меди по проекту составит 145 тыс. т.

Кроме того, открыты два новых меднопорфировых месторождения в пограничном с Пакистаном районе. Суммарные запасы их руд оцениваются в 300 млн. т.

В последнее время и в Пакистане вблизи границы с Ираном и Афганистаном обнаружено меднопорфировое месторождение *Саиндран*, приуроченное к трем штокам позднемиоценовых тоналитовых порфиров (абсолютный возраст 19,0–20,3 млн. лет), прорывающих вулканогенно-осадочную толщу мелового-олигоценового возраста. Месторождение состоит из трех участков – Восточного (264 млн. т руды, содержащей 0,49–0,62% меди), Южного (54 млн. т – 0,49–0,72% меди, 0,019% молибдена и 0,5–0,7 г/т золота), Северного (19 млн. т – 0,49–0,59% меди и 0,51 г/т золота).

Крупная рудная зона выявлена также в Бангладеш. Она простирается от индийской границы на западе до г. Рангпура на востоке и, по-видимому, является продолжением индийского пояса медно-порфировых месторождений.

В западной части Средиземноморского пояса широкое проявление меднопорфировой промышленной минерализации установлено в СССР, Болгарии, Венгрии и Югославии.

В СССР по практической значимости выделяются месторождения Каджаран и Агарак, расположенные в Армении. Оруденение месторождения *Каджаран* представлено в форме крупного штокверка в монцонитах миоцена. Основные рудные минералы – пирит, халькопирит, борнит, энаргит, молибденит и магнетит. В зоне окисления развиты малахит, азурит, куприт, ковеллин и гётит, а зона вторичного обогащения представлена халькозиновыми рудами. Содержание меди в рудах колеблется от 0,1–0,2 до 1–2% и молибдена от 0,003 до 0,15%.

Оруденение на месторождении *Агарак* приурочено к контакту штока гранодиорит-порфиров и развито в основном в интенсивно гидротермально измененных сиенит-гранитах. Оно представлено рассеянной вкрапленностью пирита и халькопирита, а также кварц-сульфидными прожилками с халькопиритом и молибденитом. В зоне окисления развиты гётит и гидрогётит, а в зоне вторичного обогащения – халькозин.

Среди меднопорфировых месторождений Болгарии по масштабу оруденения выделяется разрабатываемое с 1964 г. месторождение *Медет*. Медно-молибденовое штокверковое оруденение его развивается в основном в палеогеновых кварцевых монцонит-диоритах около их контакта с верхнемеловыми гранодиоритами. Среднее содержание меди в разведанных рудах составляет 0,1–0,5%, а молибдена 0,008–0,01%. Оруденение прослежено по простиранию на 1000–1200 м, вкрест простирания на 200–300 м и на глубину 450–500 м.

Сравнительно крупные ресурсы меднопорфировых руд разведаны в Югославии, в Восточной Сербии, где они пространственно и генетически связаны с неогеновыми андезитами и малыми интрузиями основного состава. Разведанные запасы меди месторождения *Бор* оценивались в 750 тыс. т при содержании ее в рудах около 1% и месторождения *Майданпек* – 1750 тыс. т при содержании 0,8%. Руды этих месторождений содержат золото (0,5–2,5 г/т), серебро (15–50 г/т) и молибден (до 0,006%). В окрестностях рудника Бор выявлены новые залежи медной руды, оцененные в 223 млн. т и содержащие 1,8 млн. т меди.

В 1979 г. в стране добыто 16,5 млн. т руды (в основном на месторождениях Бор и Майданпек) и выплавлено 137,5 тыс. т электролитической меди. В Македонии должны были вступить в разработку месторождения меднопорфировых руд *Буцим* и *Велики Кривель*, запасы которых соответственно составляют 1000 и 700 млн. т руды, при проектной их добыче 4 млн. и 8 млн. т в год.

В Венгрии к западу от г. Эгер разведано и осваивается крупное и необычное меднопорфировое месторождение *Речк*, расположенное на глубине; верхняя отметка рудного тела отстоит более чем на 600 м от поверхности. Буровыми работами (135 скважин глубиной 1000–2000 м) оконтурено почти вертикальное рудное тело с зональным распределением скарнов и смешанных сульфидных руд, окружающих центральную часть, сложенную порфировыми оруденелыми андезитами. В порфировых рудах халькопирит является основным рассеянным минералом и сопровождается пиритом. Молибденит располагается за границами медного оруденения и часто ассоциирует с кварцево-ангидритовыми жилами. Халькопирит преобладает также в рудах скарнового типа и сопровождается пиритом, пирротином, магнезитом, магнетитом, гематитом. В смешанных сульфидных рудах скарнового типа основным минералом является сфалерит, сопровождающийся пиритом, халькопиритом, галенитом и магнетитом. Он преобладает также в смешанных сульфидных телах в пределах гидротермально-метасоматически измененных пород.

Рудное тело содержит около 700 млн. т руды при бортовом содержании 0,4% меди, а при бортовом содержании 0,6% меди запасы руд со средним содержанием 0,8% металла оценены в 150 млн. т. На отдельных участках мощностью 6–8 м содержание меди достигает 12%. Очевидно, в первые годы будут разрабатываться высокосортные руды, примерно по 2,5 млн. т в год со средним содержанием 1,3% меди. Исследования показали, что из руд месторождения может быть получен концентрат с 24–28%-ным содержанием меди при 91 %-ном извлечении.

Имеется также возможность получения пиритового концентрата со средним содержанием пирита 8% и максимальным – 18%.

Подсчет запасов сульфидных смешанных руд, расположенных на периферии месторождения, не производился.

Наряду с меднопорфировыми месторождениями в кайнозое широко проявилось и формирование месторождений меди и других промышленно генетических типов месторождений, среди которых по научной и практической значимости особенно выделяется уникальное месторождение меди жильного типа *Бьютт*. Оно расположено в США в юго-западной части штата Монтана и разрабатывается с 1879 г. Помимо меди, из руд извлечено значительное количество серебра, золота, цинка, свинца и немного марганца.

Месторождение Бьютт расположено вблизи нижнетретичного кварцмонцонитового батолита Боулдер, интрудирующего андезиты мелового возраста. Дайки аплита и кварцевого порфира прорезают монцонит

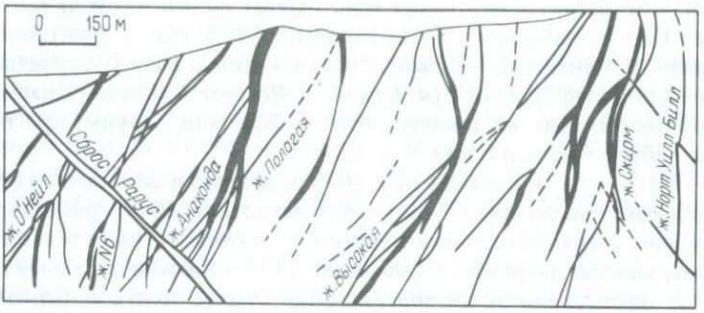


Рис. 108. Меридиональный разрез меднорудного месторождения Бьютт *(по Р. Сайлсу)*

и в свою очередь секутся риолитовыми дайками. Месторождение состоит из огромного числа крутопадающих трещинных жил и жил замещения, распространенных на площади более 18 км^2. Жилы прослежены на глубину свыше 1500 м; группировка их в плане носит характер классической структуры „конского хвоста" (рис. 108). Здесь известны три системы жил: 1) широтные, образующие так называемую систему Анаконда, 2) северо-западные, или „голубые", и 3) северо-восточные, или Стьюард. Образование вмещающих их трещин рассматривается как следствие единого тектонического акта. Кроме рудных жил, минерализация проявляется также в форме импрeньяций в монцонитах и аплитах.

Рудные жилы почти нацело сложены кварцем и содержат значительное количество пирита. Главные медные минералы – халькозин, энаргит, борит, халькопирит, теннантит, тетраэдрит и ковеллин. Встречается плотный или сажистый халькозин. Происхождение плотной разновидности халькозина считается гипогенным, а сажистой – супергенным. Помимо медных минералов, присутствуют сфалерит, реже галенит, самородное золото и серебро. Встречаются родохрозит, кальцит, родонит, барит, флюорит.

Отмечается постепенное изменение минерализации вверх и в стороны от богатых медью руд центральной зоны месторождения к цинковым и марганцевым рудам краевой зоны. Эта зональность выражается в следующем распределении характерных минералов (от центра к периферии): энаргит, халькозин; борнит, халькопирит; сфалерит; родохрозит. Глубина зоны окисления колеблется от 30 до 150 м. Медь и серебро из нее полностью удалены, а преобразование карбоната марганца в оксиды привело к возникновению небольших остаточных марганцевых руд. Зона супергенного обогащения местами достигает глубины 300 м и характеризуется обильным развитием сажистого халькозина.

Месторождение Бьютт относится к гидротермальному типу и генетически связано с кварц-монцонитовым батолитом Боулдер. С этим батолитом и другими одновозрастными интрузиями генетически связаны и другие месторождения района. Предполагается, что здесь про-

явились три самостоятельные стадии минерализации, отвечающие различным стадиям формирования батолита и ассоциирующих с ними даек. В первую стадию, в основном контактово-метасоматическую, образовались пирометасоматические месторождения золота Джорджтауна и Хелина и золото-серебряные залежи Мерисвейла. Вторая стадия, следовавшая за инъекцией пегматитов и аплитов, выразилась в формировании большинства свинцово-цинковых и серебряных месторождений, расположенных внутри и по краям батолита Боулдер севернее месторождения Бьютта, а также, по-видимому, богатых марганцем серебряных жил Филипсберга. Третья стадия минерализации совпадает по времени с внедрением даек кварцевых порфиров и представлена медно-цинковыми жилами месторождения Бьютт. Абсолютный возраст их определен в 57,4 млн. лет, а возраст батолита – 70–72 млн. лет.

Несмотря на длительный срок интенсивной эксплуатации месторождения Бьютт, оставшиеся запасы оцениваются в 120 млн. т руды, в которой содержание меди в среднем 1,6%. Поскольку за предыдущие годы здесь добыто около 8 млн. т меди, очевидно, первоначальные запасы металла в месторождении составили примерно 10 млн. т. По мере возрастания добычи меди из междужильных пространств, импрeньированных рудными минералами, среднее содержание меди в добытых рудах упало до 1% и менее, и по существу месторождение Бьютт перешло в разряд меднопорфирового типа.

Ряд сравнительно небольших скарновых месторождений меди, генетически связанных с кайнозойским магматизмом, выявлен в 60-х годах в П е р у. К ним относятся *Кобриза* (запасы меди 2,2 млн. т при содержании в руде 0,8–1,86%), *Актамина* (163 млн. т – 1,45%), *Тинтая* (1,2 млн. т – 2,1%) и *Чалкобамба-Ферробамба* (800 тыс. т – 2,3%).

Многочисленные, но мелкие месторождения меди третичного возраста известны на территории Боливии и Аргентины, где они, по-видимому, приурочены к единому поясу. Месторождения недостаточно изучены и слабо осваиваются промышленностью. В Б о л и в и и разрабатывается месторождение *Корокоро*, рудные образования которого залегают среди туфов и туфобрекчий эоцена и содержат халькозин, самородную медь, домейкит, барит и целестин. В А р г е н т и н е преобладают жильные месторождения, пространственно связанные с гипабиссальными интрузивными породами. Руды содержат пирит, халькопирит, тетраэдрит, арсенопирит и энаргит. Запасы меди в отдельных месторождениях не превышают 20–30 тыс. т. Встречаются богатые рудные столбы со средним содержанием меди 7–11,5%, серебра 80–250 г/т и золота 3 г/т и выше.

Широко проявилась третичная медная минерализация на К у б е. Месторождения и рудные проявления известны во всех провинциях страны, но наибольшее их количество сосредоточено в западной части острова, в провинции Пинар-дель-Рио. Все месторождения Кубы представлены колчеданными рудами, которые часто почти нацело сложены пиритом. Месторождения провинции Пинар-дель-Рио характеризуется сравнительно однообразным минеральным составом, в котором преобладa-

ют тонкокристаллический пирит и халькопирит; реже встречаются кубанит, халькозин, борнит, ковеллин, галенит. В зоне окисления развиты малахит и азурит. Халькопирит обычно ассоциирует с пиритом в форме мелкой рассеянной вкрапленности, реже образует более богатые концентрации в виде прожилков и изометричных скоплений.

Месторождения Кубы отличаются сложным геологическим строением. Рудные тела обычно имеют форму неправильных пластообразных и столбообразных залежей, часто осложненных многочисленными дизъюнктивными нарушениями различной амплитуды. Характерно в этом отношении строение рудного поля наиболее крупного месторождения *Матамбре,* где интенсивно проявились послерудные тектонические нарушения, обусловившие разобщение рудных тел на отдельные блоки: глубина разработки превышает 1000 м. В прошлом здесь добывались преимущественно богатые руды, в которых содержание меди составляло в среднем 11% и редко опускалось ниже 5%. Сейчас разрабатываются более бедные руды.

Другим перспективным меденосным районом Кубы является район месторождения *Эль-Кобре,* расположенный к западу от г. Сантьяго-де-Куба в провинции Ориенте. В середине прошлого века месторождение Эль-Кобре считалось крупнейшим в мире источником меди и отличалось высокосортными рудами. Здесь разрабатывался ряд рудных тел, приуроченных к зоне субширотного простирания, прослеженная часть которой составляет около 1700 м при ширине до 400–500 м. Вполне вероятно, что оруденелая зона протягивается на значительно большее расстояние (до 5000 м), так как отдельные проявления медной минерализации фиксируются в ряде пунктов к востоку и западу от известных рудных тел.

Район месторождения Эль-Кобре сложен в основном смятыми в пологие складки песчаником, песчанистыми сланцами, туфами и конгломератами эоценового возраста. Они подстилаются сланцами, роговиками, известняками и эффузивными породами палеогенового и, вероятно, верхнемелового возраста. В пределах самого месторождения породы образуют синклинальную складку, и рудная зона, так же как и большинство рудных тел, вытянута параллельно ее оси. Судя по размещению старых горных выработок, месторождение имеет весьма сложную структуру. Отчетливо проявляются многочисленные тектонические нарушения, в результате которых рудные тела разбиты на ряд блоков и смещены в различных направлениях. Ввиду отсутствия геологической карты и других необходимых геологических данных воссоздать структуру этого сложного месторождения, а также более или менее достоверно определить количество рудных тел и их морфологию невозможно.

На месторождении в основном разрабатывались четыре рудных тела, из которых только два сохранились на глубине 360 м. Главная рудная жила, залегающая в центральной части месторождения, прослежена по простиранию на 450 м при мощности 1,8–3 м. Другие тела отличаются, по-видимому, меньшей протяженностью. Рудные тела име-

ют крутое падение, примерно под углом 70–85°. Первичные сульфидные руды представлены пиритом, пирротитом и халькопиритом. В зоне окисления и в зоне цементации, нижняя граница которой опускается до глубины 225 м, преобладают малахит и азурит.

Разработка месторождения, известного еще с 1530 г., осуществлялась преимущественно открытым способом, а также рядом шахт, глубина которых достигла 390 м. По имеющимся неполным статистическим данным, с 1830 по 1868 г. было добыто 775 тыс. т руды со средним содержанием меди 15%. В другой период, с 1906 по 1919 г., из нетронутых ранее более бедных участков добыто 360 тыс. т руды со средним содержанием меди 7%.

Многочисленные третичные месторождения меди сравнительно небольших размеров известны в ряде стран Азии.

На Филиппинах разрабатывались жильные месторождения *Лепанто* и *Мазер-Лод* (о. Лусон). Запасы медных руд месторождения Лепанто составляют 4,5 млн. т при среднем содержании в них меди 3,44% и золота 4,1 г/т.

Сравнительно крупное скарновое месторождение *Эртсберг* в последние годы разведано в Индонезии; общие запасы руд составляют 50 млн. т при среднем содержании 2,75% меди, 40,6% железа, 0,85 г/т золота и 8,2 г/т серебра. Месторождение введено в разработку в 1972 г., и в 1973 г. получено 37,9 тыс. т меди в концентрате при проектной мощности комбината 60–65 тыс. т.

Небольшие месторождения медноколчеданных руд разрабатываются в Японии, где они пространственно и генетически связываются с липаритами и андезитами миоцена. Среднее содержание в них меди составляет 2%. Введен в действие новый рудник Мацуоки по разработке руд типа „куроко", запасы руд которого составляют около 3 млн. т при содержании меди 3,74%.

Общие запасы меди Японии оцениваются в 2 млн. т, из них доказанные составляют 1,5 млн. т при содержании меди 0,7–9,0%.

На о. Тайвань месторождения меди кайнозойского возраста связаны с красными третичными кварц-полевошпатовыми песчаниками, выполняющими окраинные части депрессий, с третичными глинистыми отложениями и с третичными андезитами. В месторождениях, залегающих в песчаниках, рудные минералы представлены в основном малахитом, образующим радиальнолучистые агрегаты, азуритом, ковеллином, редко борнитом, а в месторождениях, приуроченных к глинистым отложениям, – халькозином.

Ряд месторождений медноколчеданных руд предположительно кайнозойского возраста разведан и освоен промышленностью в Турции. Доказанные запасы их составляют 2,5 млн. т меди при ее содержании в рудах от 0,8 до 8,9%, в среднем 1,5%. Запасы наиболее крупного месторождения *Мургул* оцениваются в 50 млн. т руд при содержании меди 1,05–1,58% (более 600 тыс. т металла). Разработки ведутся открытым способом.

В Иране с 1972 г. разрабатывается месторождение *Мазрах*,

скарновые залежи которого приурочены к контакту гранодиоритов олигоцен-миоцена с палеозойскими мраморизованными известняками. Разведанные запасы его составляют 10 млн. т руды при среднем содержании меди 2,5% и золота 1,2 г/т. Руды содержат также висмут, вольфрам, кобальт, свинец и ртуть.

Колчеданные месторождения, генетически связанные с кайнозойским вулканизмом, известны на К и п р е. Основные разрабатываемые месторождения расположены в Мавровуни. Общие запасы меди в стране оцениваются в 50 тыт. т при среднем содержании меди в рудах 0,5–1,5%. Добыча меди, достигшая в 1975 г. 9,9 тыс. т, снизилась до 6,0 тыс. т в 1980 г. Попутно с медью добывается пирит (более 1 млн. т в год), извлекаются золото и серебро.

В Европе третичные месторождения меди выявлены в северной части И с п а н и и, где меденосные песчаники, реже конгломераты и мергели верхнего олигоцена распространены на площади 6000 км^2. Медистые песчаники приурочены к строго определенному горизонту и состоят из хорошо окатанных зерен кварца и карбонатного цемента. Обычно в них хорошо выражена слоистость, подчеркнутая ритмичным переслаиванием рудных и безрудных прослойков. В подошве меденосных пластов часто наблюдаются слои с многочисленными отпечатками листьев; в этих слоях содержание меди иногда превышает 30%.

В районе г. Биель суммарная мощность продуктивной толщи составляет 88 м. Она включает восемь пластов медистых песчаников, разделенных пластами безрудных мергелей и тонкозернистых песчаников. Наибольшей мощностью (около 7 м) отличается пласт № 3. Из рудных минералов в нем развит преимущественно халькозин. Среднее содержание меди составляет 3,4–4,1%. Меньшей мощностью (1–1,5 м), но более разнообразным минеральным составом характеризуются пласты № 2, 4, 5 и 6. В них медные минералы представлены самородной медью, купритом, малахитом, азуритом, халькозином и ковеллином, а содержание меди колеблется от 4,7 жл 8%. (Вероятно, данные о содержании меди относятся к отдельным штуфам).

Осадочное происхождение медистых песчаников не вызывает сомнения. Предполагается, что они образовались в условиях внутриконтинентального мелководного бассейна, расположенного между Пиренеями на севере и горами Мезета на юге. Наличие меди в некоторых доолигоценовых месторождениях и горных породах Пиренеев указывает на возможность поступления ее из размывавшихся горных систем.

В зарубежной литературе появились сообщения о выявлении на севере Ч и л и у шельфовой зоны обогащенных медью илистых осадков, прослеженных вдоль 20-километровой береговой полосы. Содержание в них меди колеблется от 0,3 до 1,3%. Изучается вопрос рентабельности их практического использования, учитывая возможность извлечения этих осадков дешевым дражным путем.

К кайнозою, вероятно, можно отнести ресурсы меди, содержащиеся в марганцевых конкрециях Мирового океана. В наиболее изученной его части – Тихом океане – они составляют не менее 360 млн. т при среднем содержании меди и никеля более 1%.

За последние годы заметно возросли запасы никеля силикатных месторождений, приуроченных к латеритной коре выветривания ультраосновных пород, с которыми руды связаны постепенными переходами. Почти все они сосредоточены в Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Америке и Океании, где они по времени образования относятся к кайнозою. Разведываются и разрабатываются только те месторождения этого типа или их участки, в рудах которых среднее содержание никеля превышает 1%, а иногда и 3%. Большая часть силикатных никелевых руд развитых капиталистических и развивающихся стран сосредоточена в Новой Каледонии (Франция). Месторождения ее расположены в юго-восточной части острова и приурочены к коре выветривания (по-видимому, олигоценовых серпентинизированных перидотитов), распространенной на площади около 6–7 тыс. км^2 при мощности 50–100 м, а местами 150 м. Она покрывает склоны пологих гор и обширных плато. Развитие ее, вероятно, продолжается в условиях современного субтропического климата.

Верхние горизонты коры выветривания, представленные железистыми латеритами (красная почва – с содержанием железа до 60% и никеля 1,6%), сменяются (книзу) гарниерито-серпентинитовой зоной, в которой гарниерит составляет цемент брекчии и образует прожилки и жилы мощностью менее 1 м в разложенном серпентините. В нижней части латеритной зоны встречаются коричневые коллоидные ферриалюмосиликаты никеля, а также асболаны и другие марганцевые соединения с высоким содержанием кобальта. Мощность разрабатываемых рудных зележей колеблется от 1,8 до 9 м. Залегают они обычно на глубине от 3 до 9 м.

Основные никель- и кобальтсодержащие минералы – гарниерит и асболан. Руды отличаются пестрым составом: наряду с бедными разновидностями с содержанием 0,8–1% никеля встречаются богатые руды, содержащие около 5% этого металла. После ручной сортировки содержание никеля доводится до 3,5%. Общие запасы никеля оцениваются до 26 млн. т, разведанные – 13,6 млн. т при содержании соответственно 1,2 и 3,0% металла. Руды характеризуются высоким содержанием кобальта, общие запасы которого определяются в 450 тыс. т (доказанные – 262 тыс. т), при содержании в рудах 0,1% металла.

В Новой Каледонии интенсивная эксплуатация никелевых руд началась в 1876 г. В течение 25 лет страна являлась крупнейшим поставщиком никелевого сырья, но затем вынуждена была уступить Канаде. Добыча производится преимущественно открытым способом, редко глубже 50 м от поверхности. В 1980 г. произведено 86,3 тыс, т никеля* и 4,3 тыс. т кобальта.

---

* Данные по производству никеля в силикатных рудах приводятся по содержанию его в ферроникеле.

Известные на К у б е месторождения никеля и кобальта связаны с латеритными железными рудами, которые образовались в результате выветривания в тропических условиях основных пород, представленных теперь серпентинитами. Это – остаточные образования различной мощности, представляющие собой смесь оксидов железа, гидроокиси алюминия, высокоглиноземистых глин с небольшими примесями никеля, хрома, кобальта и марганца; они широко распространены во многих районах страны. Наиболее благоприятными для их образования оказались серпентинизированные перидотиты, слагающие значительные площади.

Особенно широко эти руды распространены на северном побережье провинции Ориенте, где рудные залежи мощностью от нескольких метров до 30 м прослеживаются на десятки километров.

Только в пределах района Майари-Баракои кора выветривания серпентинитов занимает площадь 120х30 км. Крупные площади распространения латеритных руд и связанные с ними промышленные месторождения никеля и кобальта известны и в других провинциях Кубы – Камагуэе и Пинар-дель-Рио. Считают, что значительная часть руд, образовавшихся здесь в результате латеритизации серпентинитовых массивов, снесена в море, а имеющиеся огромные их залежи составляют лишь небольшую часть первоначальных ресурсов.

Руды представлены в основном лимонитом. Среднее содержание в них железа составляет примерно 30%, но выделяются крупные залежи более богатых руд, содержащих 40–50% железа, от следов до 2–3% никеля и кобальта, от следов до 1,7–2% и более хрома. Между латеритами и подстилающими их коренными породами, как правило, залегает тонкий слой серпентинитовых руд, в которых среднее содержание железа составляет 22%, магния – 20% и никеля – более 1,5%.

Форма и мощность рудных залежей, а также содержание в них полезных компонентов отличаются резкой изменчивостью. На месторождении *Моа* мощность промышленных рудных залежей колеблется от 3 до 30 м (средняя – 10,5 м) при мощности вскрыши 1,5–1,8 м. Мощность рудных залежей месторождения *Никаро,* имеющих нередко гнездообразную форму, изменяется от 0,3 до 30 м (средняя – 2,4 м).

По данным, опубликованным в 1955 г., общие запасы никеля Кубы исчислялись в 4215 тыс. т при содержании его в рудах 1,35–1,45%, из них достоверных в месторождениях района Майари – 320 тыс. т с содержанием никеля в руде 1,45% и Моа (1957 г.) – 675 тыс. т при содержании 1,35%. Общие запасы кобальта составляли 335 тыс. т со средним содержанием его в руде не менее 0,1%.

Запасы никеля более бедных руд, содержащих 0,8% металла, исчислялись в 12 млн. т, а запасы кобальта в этих рудах при содержании 0,07% оценивались в 1 млн. т. Общие запасы латеритных железных руд составляли от 8 до 15 млрд. т, из них разведанные в основных месторождениях никеля 3–3,5 млрд. т при среднем содержании железа 40–50%. Использованию железных руд мешает изменчивое содержание в них хрома.

Наиболее крупные месторождения Индонезии (Сороака и Памалеа) расположены в юго-восточной части о. Сулавеси и приурочены к коре выветривания гарцбургитов. Силикатные никельсодержащие руды в форме обширных плащеобразных залежей перекрыты маломощными (до 5м) слоями рыхлых латеритных образований, общие запасы никеля месторождений *Сороака* составляют 3,5 млн. т и *Помалеа* – 1,1 млн. т при среднем содержании металла в рудах соответственно 1,8 и 1,6%. Силикатные руды никеля разведаны и на других островах Индонезии. Содержание в них никеля колеблется от 1,1 до 1,7%, на отдельных участках до 4%.

Общие запасы никеля оцениваются в 4,5 млн. т, из них доказанные 3,7 млн. т при среднем его содержании в рудах 1,43%. Общие запасы кобальта оцениваются в 290 тыс. т при содержании 0,12–0,16%.

Производство никеля возросло с 14,6 тыс. т в 1975 г. до 40,6 тыс. т в 1980 г.; годовое производство кобальта находится на уровне 400 т.

Широко распространены силикатные никелевые руды на Филиппинах. На о. Минданао почти сплошной покров никель- и кобальтсодержащих латеритных железных руд мощностью от 1 до 18 м распространены на площади около 45 км². Руды связаны постепенными переходами с подстилающими серпентинитами. Бóльшая часть их относится к бедным рудам, в которых среднее содержание никеля составляет 0,79% при содержании железа 47,55%. В разведанных месторождениях более богатых руд среднее содержание никеля колеблется от 1,1 до 1,7% и редко превышает 2,2%. Среднее содержание кобальта в разведанных рудах составляет 0,08%. Наиболее крупным является месторождение *Восточное Давао* с запасами никеля 2,1 млн. т при среднем содержании его в руде 1,29% и кобальта – 0,06%. Запасы никеля месторождения *Лонг-Пойнт-Баронг*, расположенного на о. Палаван, составляют 1,4 млн. т при его содержании в руде 1,39% (кобальта – 0,12%). Более бедные руды разведаны на о. Нанок. Запасы их составляют 145 млн. т при среднем содержании в них никеля 1,1% и кобальта 0,08%.

Общие запасы никеля, рентабельные для разработки при современной конъюнктуре, оцениваются в 1,2 млн. т при содержании его в руде 1,2–2,0%. Запасы кобальта в этих рудах оцениваются в 190 тыс. т при его содержании 0,03–0,12%.

Крупные запасы никеля в латеритных рудах выявлены в последнее время в Колумбии – 1890 тыс. т при содержании его 2,0–3,5%. Наиболее крупное месторождение – *Керро-Матосо*, общие запасы никеля которого достигли 800 тыс. т при его содержании в разведанных рудах 2,6%.

В Гватемале в 1978 г. завершено строительство предприятия на базе месторождения, расположенного на побережье оз. Исабаль. Запасы никеля здесь составляют около 1 млн. т при содержании в руде 1,5%. Первая очередь предприятия рассчитана на выпуск 13 тыс. т 75%-ного никелевого штейна (по содержанию металла). В дальнейшем предусматривается увеличение мощности предприятия до 28 тыс. т В 1980 г. произведено 6,9 тыс. т.

В Доминиканской Республике силикатное нике-

левое оруденение в отрогах Центральной Кордильеры прослежено на площади 8 тыс. км². Общие запасы никеля в этих рудах оцениваются в 1150 тыс. т при среднем его содержании 1,64%. Производство никеля в стране в 1980 г. составило 15,5 тыс. т.

Месторождения никелевых руд Бразилии расположены в штатах Гояс и Минас-Жерайс. В разведанных залежах среднее содержание никеля колеблется от 1,5 до 2%. Общие запасы никеля в этих рудах оцениваются в 2 млн. т, из которых половина относится к доказанным. Основными источниками добычи его являются месторождения района Либердат в штате Минас-Жерайс. Годовое производство никеля составляет около 3 тыс. т.

Ряд месторождений латеритных руд выявлен также в Пуэрто-Рико. Мощность продуктивного горизонта на исследованных площадях колеблется от 3 до 15 м. Общие запасы никеля оцениваются в 700 тыс. т при среднем содержании его в рудах 0,88 % и кобальта – 0,99%.

Месторождение силикатных никелевых руд разведано в Венесуэле. Руды отличаются высоким качеством. Общие запасы их составляют 630 млн. т при среднем содержании никеля 1,7 %.

Сравнительно широко проявились процессы латеритного выветривания КНР. В южной части провинции Юньнань разведаны месторождения силикатных никелевых руд, приуроченных к коре выветривания серпентинитов. Последние представляют собой продукт изменения яньшанских (верхнемезозойских) ультраосновных интрузивных пород. Мощность коры выветривания составляет 60 м, содержание никеля в рудах колеблется от 0,5 до 2,2%.

Небольшие месторождения латеритных руд никеля выявлены в Индии. Суммарные запасы металла в них составляют всего 120 тыс. т при содержании 0,8–1,4%.

С конца 1974 г. начата разработка силикатных руд месторождения *Гринвейл* в Австралии. Общие и разведанные его запасы составляют 40 млн. т руды, содержащей в среднем 1,57% никеля и 0,15% кобальта. Проектная мощность предприятия определена в 24,5 тыс. т никеля и 1,24 тыс. т кобальта. В 1977 г. из общего производства никеля в стране 85,9 тыс. т около 30 тыс. т получено из гарниеритовых руд.

В районе Раму-Ривер (Папуа-Новая Гвинея) обнаружено месторождение никельсодержащих латеритовых руд, развитых на площади 13 км². Выявленные запасы оцениваются в 41,1 млн. т руды, содержащей 1,49% никеля и 0,13% кобальта; определены также потенциальные запасы еще неразведанной руды. Оруденение находится на глубине не более 22,5 м от поверхности.

В США основным источником получения никеля из собственных руд служит латеритное месторождение *Риддл*, расположенное в штате Орегон. Запасы его руд оцениваются в 18 млн. т при содержании 1,4% никеля. Добытая руда перерабатывается на ферроникелевом заводе годовой мощностью 14 тыс. т.

Относительно небольшие месторождения кобальта, связанные с раннетретичной магматической деятельностью, известны, в штате Айдахо. Оруденение наблюдается в зонах снятия и трещиноватости в докембрийских кварцитах вблизи массивов габбро, штоков и даек кварцевых порфиров и даек лампрофиров. Минерализованные зоны с преобладающим прожилково-вкрапленным оруденением прослеживаются в длину на 100–300 м при мощности до 20 м. По характеру и составу минерализации выделяются кобальт-турмалиновые, кобальт-биотитовые и кобальт-медные (с золотом и серебром) разновидности руд. Считают, что в указанной последовательности происходило и образование этих разновидностей. Содержание кобальта в рудах колеблется от 0,5 до 1,2%, реже оно достигает 5–6%. В переменных количествах руды содержат биотит, мусковит, цоизит, эпидот, кварц, арсенопирит, пирит, самородное серебро и золото, энаргит, халькопирит, галенит и сидерит.

В Западной Европе месторождения латеритных руд разрабатываются только в Греции, преимущественно на о. Эвбея и в районе Ларимна. Общие запасы никеля оцениваются в 2,5 тыс. т, из них доказанные 1,0 тыс. т при среднем содержании металла 1,0%. Годовое производство никеля составляет примерно 15 тыс. т.

В Африке до настоящего времени не выявлены промышленные месторождения силикатных никелевых руд, хотя геологические условия для их формирования, несомненно, весьма благоприятны, о чем свидетельствует широкое распространение латеритной коры выветривания и разнообразных ультраосновных пород.

СВИНЕЦ, ЦИНК, СЕРЕБРО

Крупные запасы этих металлов заключены в месторождениях кайнозоя, сосредоточенных преимущественно в странах Западного полушария, особенно в США, Мексике, Перу и Канаде. Для этих рудных районов весьма характерно широкое проявление серебра: наряду с богатыми серебром полиметаллическими рудами здесь часто встречаются и собственно серебряные месторождения.

Промышленные месторождения третичных полиметаллических руд известны также в южной части Европы и в ряде районов Африки, но по запасам и по уровню добычи они значительно уступают месторождениям Северной и Южной Америки.

В США большинство месторождений расположено в Кордильерах, где особенно интенсивно проявились тектонические движения и вулканическая деятельность в кайнозое. Здесь намечаются три рудных пояса, один из которых протягивается из штатов Юта и Невада через Мексику и Гондурас, второй охватывает район Кер д'Ален и южную часть Британской Колумбии (Канада), а третий проходит через штат Колорадо.

Большое экономическое значение имеет район *Кер д'Ален* в штате Айдахо. Он занимает одно из ведущих мест в стране по запасам и добы-

че свинца и цинка и является крупнейшим в мире источником серебра. Рудный район площадью более 800 км² сложен в основном протерозойской толщей кварцитов, аргиллитов и карбонатных пород общей мощностью около 6000 м, интрудированной штоками монцонитов и дайками диабазов и лампрофиров. Штоки монцонитов рассматриваются как отдельные выступы крупного Айдахского батолита позднемелового возраста. Отчетливо выражен контактовый метаморфизм кварцитов и аргиллитов вблизи интрузивов. В контактовой зоне шириной 15–30 м развиваются магнезит, гранат, пироксен, биотит, эпидот и андалузит.

Район разделяется сбросом с вертикальным и горизонтальным смещениями в несколько километров. Тектонические нарушения меньшей амплитуды отмечаются к северу и к югу от главного сброса. Рудные тела преимущественно жильной формы расположены вдоль четко очерченных трещин или зон скалывания, и, хотя они пространственно тяготеют к штокам монцонитов, многие исследователи склонны относить их формирование к кайнозою, когда происходили основные деформации района. Другие авторы рассматривают эти месторождения как гипотермальные контактово-метаморфические образования и считают, что формирование их происходило в промежуток времени между внедрением штокообразных интрузий монцонитов и более поздним внедрением *диабазовых и лампрофировых даек*.

В районе Кер д'Ален с докембрия до третичного периода проявилось шесть этапов минерализации, из которых главный этап связан со штоками лампрофиров и монцонитов мелового возраста. Изотопным анализом свинца галенита из жил главного этапа возраст минерализации определен в 1250 млн. лет, что не согласуется с зональным расположением жил вокруг монцонитовых штоков и пересечением этих штоков некоторыми жилами. Это несоответствие объясняется тем, что свинец был выделен из докембрийской гранитной магмы и перенесен в верхние части земной коры в меловой период.

Разрабатываемые рудные жилы отличаются крупными размерами и крутым падением. Некоторые из них достигают в длину 2100 м при средней мощности 2,7 м. Сложены они в основном сидеритом и галенитом, в меньшей мере пиритом, сфалеритом и серебросодержащим тетраэдритом. В рудах присутствуют также халькопирит, магнетит, арсенопирит, пирротин, кварц, кальцит, доломит и борит. Реже встречаются джемсонит, борит, халькозин, стибнит, буланжерит, бурнонит, герсдорфит и шеелит. Считают, что образование сульфидов происходило в две стадии: сначала выделились пирротин, пирит, халькопирит и арсенопирит, затем – галенит, сфалерит, джемсонит. Зональность минерализации проявляется в уменьшении отношения свинца к цинку с глубиной и нередко в увеличении относительных количеств сфалерита и пирита в направлении от центральных зон к периферическим.

Промышленное оруденение в районе Кер д'Ален прослеживается до глубины 1590 м от поверхности. В добытых рудах среднее содержание свинца составляло 7,2%, цинка 4,6% и серебра 180 г/т.

На месторождении *Саншайн,* одном из крупнейших в мире месторождений собственно серебряных руд, оруденение представлено серией сидерит-кварцевых жил, залегающих в раздробленной зоне кварцитов. Разрозненные пачки жил сливаются на глубине 500 м, и рудные тела приобретают более крупные размеры, а также более богатую минерализацию. Основным рудным минералом является серебросодержащий тетраэдрит, в небольшом количестве присутствует галенит.

В последнее время на месторождении Саншайн, расположенном в южной части района, обнаружены значительные концентрации урановой смолки, абсолютный возраст которой определен в 700 млн. лет. Так как геологическая позиция месторождения не соответствует докембрийскому возрасту, ряд исследователей предполагает, что образованная в докембрийское время урановая смолка была захвачена и переотложена рудными растворами, связанными с кайнозойским магматизмом.

Таким образом, вопрос о возрасте месторождений района Кер д'Ален остается спорным, и нами они отнесены к кайнозою весьма условно. Отчасти это подтверждается открытием месторождения *Деламар,* оруденение которого проявлено в миоценовых кварцевых порфирах в виде тонкой вкрапленности науманита и аргентита. Содержание в рудах серебра составляет 60–185 г/т и золота 0,1 г/т. Руды района Кер д'Ален характеризуется высоким качеством: в добытых рудах среднее содержание извлекаемого серебра составляло 1040 г/т. С начала разработки добыто около 1000 т серебра и большое количество сурьмы, свинца и меди.

Месторождения разрабатываются с 1879 г. Здесь добыто более 30 тыс. т серебра. По добыче свинца район занимает второе место в стране, а по добыче серебра (450–500 т в год) – первое. Глубине выработок на ряде рудников превышает 1200 м. Оставшиеся запасы свинца оцениваются в 800–900 тыс. т, цинка – 650–700 тыс. т.

Мировой известностью издавна пользуется месторождение *Комсток Лод* в штате Невада, на котором, по данным А. Бэтмана, с 1860 по 1889 г. было добыто 4800 т серебра. В 1889 г. рудник был затоплен горячими (77°С) кальциево-сульфатными водами. Оруденение приурочено к сбросовой трещине, протягивающейся на 5 км и отделяющей третичные и более древние вулканические породы висячего бока от мезозойских пород лежачего бока. Мощность рудной зоны, образованной отдельными столбообразными и гнездообразными скоплениями бонанцовой руды, достигает 100 м. Руда состоит из раздробленного кварца, некоторого количества кальцита и подчиненных им сульфидов с золотом, электрумом, аргентитом, полибазитом и другими сульфосолями серебра, заместившими пирит, сфалерит и галенит. Боковые породы интенсивно пропилитизированы и серицитизированы.

Руды месторождения отличались исключительно высоким качеством. До глубины 700 м содержание серебра в них достигало 1,6% и золота 500 г/т. Из руд месторождения за время эксплуатации извле-

чено золота и серебра более чем на 400 млн. долларов (при соотношении 40:1).

В штате Колорадо месторождения свинцово-цинковых руд представлены метасоматическими пластовыми и жилообразными трещинными залежами в каменноугольных известняках на контакте или близ контакта последних с дайками и межпластовыми интрузиями порфиров, вероятно, кайнозойского возраста; с магматической деятельностью этого периода генетически связывается оруденение. Руды сложены кварцем, джаспероидом и в незначительном количестве баритом. Основными рудными минералами являются пирит и сфалерит. Постоянно присутствуют галенит, халькопирит, реже встречаются самородное золото, молибденит, вольфрамит и шеелит. Содержание цинка в отдельных рудных залежах достигает 15%, редко 30%, свинца 1—4%, меди 1%; содержание серебра колеблется от 60 до 280 г/т.

Сравнительно крупные запасы свинца, цинка и серебра заключены в рудном поле месторождения меди Бингем, где весьма отчетливо проявлена горизонтальная зональность минерализации (рис. 109). В самом монцонитовом штоке и в непосредственной близости от него во вмещающих кварцитах и известняках пенсильванского возраста развито медное оруденение. Далее от контакта медные руды сменяются свинцово-цинковыми, залегающими преимущественно среди известняков в форме метасоматических залежей и трещинных жил.

Наибольшее значение имеют метасоматические залежи, нередко образованные путем замещения известняковых горизонтов по всей их мощности, достигающей 30—45 м. Руды представляют собой массивный среднезернистый агрегат, состоящий из кварца, кальцита, незамещенных минералов вмещающей породы и разнообразных сульфидов, среди которых главными являются галенит, сфалерит и пирит. Часто в качестве незначительной примеси присутствуют пирротин, борнит, ковеллин, халькозин, энаргит, спекулярит, реальгар, аурипигмент и киноварь. Золото встречается во всех сульфидах, особенно в пирите, а иногда обнаруживается и в форме самородков. Серебро чаще всего ассоциирует с галенитом, реже с теннантитом и тетраэдритом и в редких случаях встречается в виде самородков.

Трещинные жилы характеризуются полосчатой текстурой, обусловленной ленточной концентрацией сульфидов в кварцево-кальцитовой жильной массе.

Разрабатываемые руды отличаются весьма высоким содержанием металлов. Содержание в них свинца достигает 11%, цинка 10% и серебра 180 г/т. Содержание золота непостоянно; иногда оно превышает 20 г/т, но нередко устанавливаются только „следы" его. Суммарные запасы свинца и цинка превышают 1000 тыс. т.

В К а н а д е среди третичных месторождений полиметаллических руд большой интерес представляет месторождение серебра *Торбит*. Линзообразные рудные тела залегают среди юрских (?) вулканогенных образований, прорванных штоками порфиров, которые внедрились

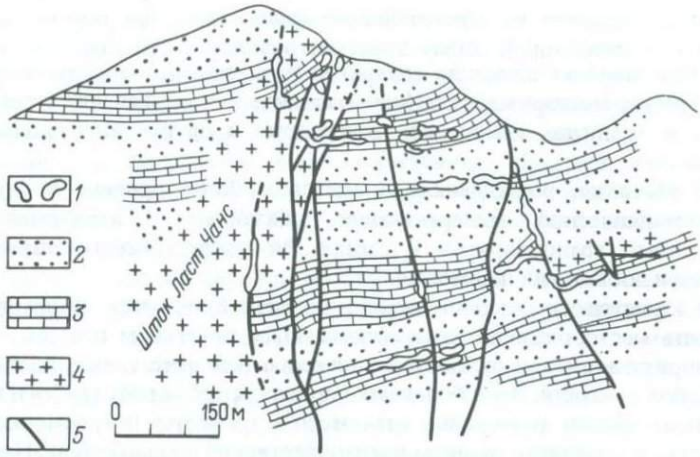


Рис. 109. Широтный разрез штока Юта Коппер на месторождении Бингем *(по Р. Хэнту и Х. Пикоку)*:

1 – забои в свинцово-цинковых рудах; *2* – кварциты; *3* – известняки; *4* – монцониты; *5* – трещинные залежи

в конце мелового периода, а также дайками андезитов третичного возраста. Руда представляет собой агрегат кварца и барита с переменным количеством кальцита и сидерита и содержит весьма разнообразный комплекс рудных минералов. Главными из них являются галенит, тетраэдрит, пираргирит, аргентит и самородное серебро. В подчиненном количестве присутствуют пирит, халькопирит, сфалерит, магнетит, гематит. Руды содержат также 0,52–1,05% стронция, который встречается в форме изоморфной примеси в барите. В сфалерите содержится 0,72% CdS, 0,19% MnS и 2% FeS. Температура образования сфалерита из системы ZnS–FeS–S определяется в 270°С. Считают, что месторождение образовалось при температуре 230–310°С и давлении 30 МПа. Сведения о запасах месторождения отсутствуют.

Значительные ресурсы свинца, цинка и серебра сосредоточены в месторождениях Мексики, которая по добыче этих металлов, особенно серебра, занимает среди капиталистических стран видное место. Серебро является постоянным компонентом свинцово-цинковых руд; кроме того, известны промышленные месторождения собственно серебряных руд и многочисленные месторождения золото-серебряных руд.

Полиметаллические месторождения в Мексике распространены почти повсеместно. Из 29 штатов и 2 федеральных территорий свинец добывается в 22 штатах и на 1 территории. Наибольшей продуктивностью отличаются месторождения замещения в известняках и доломитизированных известняках мелового возраста, слагающих бóльшую часть Мексиканского плато. Генетически они связываются с третичны-

ми, преимущественно миоценовыми аляскитами, диоритами, кварцевыми монцонитами. К этому этапу интрузивной деятельности относятся также мощные излияния андезитов и риолитов, к которым приурочены многие месторождения. Полиметаллическое оруденение встречается также в гранитах, кварцевых монцонитах и других интрузивных породах.

В Мексике, по-видимому, имеются и более древние проявления полиметаллической минерализации, связанные с верхнемеловыми интрузиями гранодиоритов и габбро, но существенного значения в запасах и добыче они не имеют.

В качестве характерной закономерности отмечается частая приуроченность месторождений к антиклинальным перегибам пластов. Весьма благоприятными для рудоотложения оказались известняки, подвергшиеся доломитизации. В карбонатных породах преобладают трубо- и плащеобразные залежи замещения, хотя часто встречаются и рудные жилы; в риолитах и андезитах развиты преимущественно жильные тела. Наиболее крупные плащеобразные рудные залежи, выполняющие различной формы пустоты в известняках, достигают в ширину 20 м, в длину 50–100 м и по мощности 10 м. Жилы часто приурочены к нескольким системам сколовых трещин и отличаются сложным строением, которое иногда обусловлено наличием линзообразных клиновидных плит вмещающей породы в рудовмещающих трещинах. Размеры жил колеблются в широких пределах. Мощность их составляет в среднем 1 м, но часто достигает 4–5 м, а иногда и 15 м. Длина отдельных жил превышает 5 км. В разных рудных районах минерализация проявилась различно.

Месторождения Мексики, связанные преимущественно с вулканогенными породами, характеризуются сравнительно скудным минеральным составом. Рудные тела сложены кварцем, с которым иногда ассоциируют кальцит, барит, флюорит. Рудные минералы представлены тонкозернистым серебросодержащим галенитом, грубозернистым галенитом и сфалеритом. Постоянно присутствуют различные оксиды железа. В небольших количествах встречаются пирит, халькопирит и арсенопирит, причем содержание последних двух минералов увеличивается с глубиной.

Более разнообразным минеральным составом отличаются руды месторождений северной части Мексики, связанные с карбонатными породами. Минералы жильного выполнения представлены наряду с кварцем кальцитом, баритом, а также различными силикатами (гранат, пироксен, везувиан, эпидот), гипсом и другими минералами. Из рудных минералов, кроме галенита и сфалерита (часто железистого), обычно присутствуют пирит, пирротин, арсенопирит, марказит, вюртцит, виллемит, гринокит, вульфенит, ванадинит, минералы индия и германия, а также оксиды марганца, гематит, лимонит и сидерит. В собственно серебряных рудах часто встречаются серебро-медный сульфид, штромейерит, аргентит и акантит.

Глубина зоны окисления и вторичного обогащения в жильных месторождениях обычно не превышает 50–150 м, а в месторождениях,

представленных рудными столбами в карбонатных породах, достигает 500–600 м. Основные рудные минералы этих зон – церуссит, смитсонит, англезит, каламин, плюмбоярозит и аргентоярозит. Широко проявлены околорудные изменения вмещающих пород: окварцевание, пиритизация, хлоритизация, серицитизация и пелитизация.

Общие запасы свинца в месторождениях Мексики составляют 6000 тыс. т, а цинка 9500 тыс. т при содержании в рудах свинца 1,3–21,0% и цинка 4–13%; в 1980 г. производство свинца в концентратах составило 146,2 тыс. т, цинка 236,5 тыс. т.

Данные о запасах серебра не опубликованы. При их оценке следует иметь в виду, что Мексика в течение многих лет занимает первое место в мире по добыче серебра. Оно добывается попутно на месторождениях полиметаллических руд, в которых содержание серебра иногда достигает 300–500 г/т, на месторождениях собственно серебряных руд – более 600 г/т, а на многочисленных месторождениях золото-серебряных руд – от 170 до 560 г/т и золота от 1 до 23 г/т. В 1982 г. предполагалось ввести в разработку месторождение Реал-де-Анжелес, разведанные запасы которого составляют 58,8 млн. т руды, содержащей 74 г/т серебра (4350 т), 1% свинца, 0,92% цинка и незначительное количество меди. Проектная производительность рудника определена в 218 т серебра в концентрате. Общее производство серебра в стране в 1980 г. достигло 1630 т.

Многичисленные месторождения полиметаллических руд известны в П е р у. Бóльшая часть их расположена вдоль главного хребта Высоких Анд в Центральном Перу, где они прослеживаются на протяжении 350 км. Месторождения обычно приурочены к вулканогенно-осадочным образованиям третичного возраста и генетически связаны со штоками и дайками монцонит-порфиров и другими гипабиссальными интрузиями. Геологические позиции и характер минерализации отдельных месторождений и рудных районов весьма разнообразны и отличаются специфическими особенностями, но общей чертой полиметаллических руд этой провинции является преобладание в них цинка над свинцом и постоянное присутствие серебра в промышленных концентратах.

Большое экономическое значение имеет месторождение *Серро-де-Паско* (рис. 110), расположенное в пределах Центрально-Андского мезозойского пояса на высоте 4500 м, в вулканической кальдере, наложенной на триасово-юрские известняки и девонские сланцы. Кальдера выполнена третичными вулканогенными и осадочными породами, прорванными штоками и дайками монцонитовых порфиров, возраст которых, по данным калий-аргонового метода, составляет 14–15 млн. лет. С ними генетически связывается оруденение, характерное исключительно разнообразным минеральным составом. Здесь насчитываются 28 гипогенных минералов: пирит, пирротин, касситерит, арсенопирит, сфалерит, марказит, галенит, бурнонит, братонит, баумгауерит, теннантит, халькопирит, эмплектит, арамайоит, полибазит,

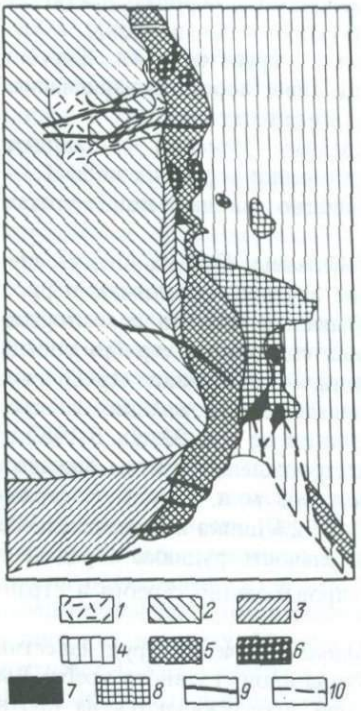
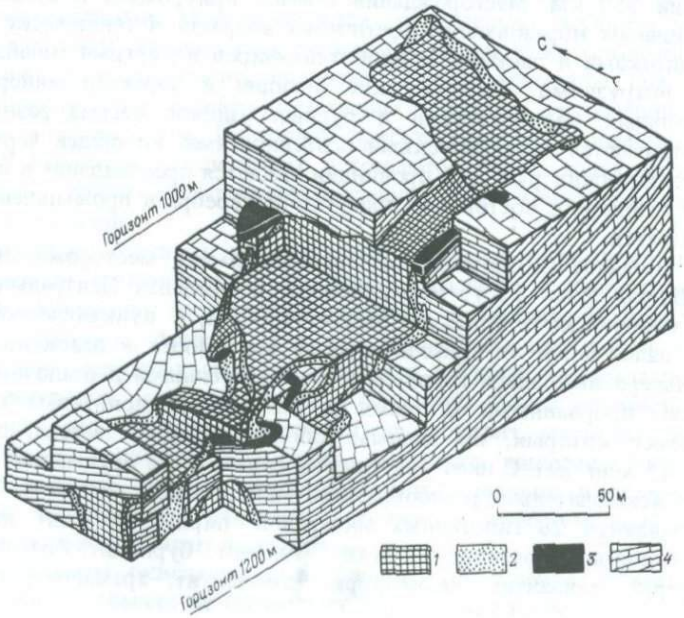


Рис. 110. Схематическая геологическая карта месторождения Серро-де-Паско *(по Д. Мак-Лафлину)* :

1 – кварц-монцонитовые порфиры; *2* – агломераты; *3* – обломочные породы; *4* – известняки; *5* – пиритовая залежь; *6* – первичная медная руда; *7* – серебряно-пиритовые руды; *8* – свинцово-цинковые руды; *9* – жилы; *10* – сбросы

Рис. 111. Изометрическая проекция нижней части манто (плащеобразного тела) Омбла в районе Морокоча, Перу:

1 – пиритовое тело; *2* – халькопиритовые руды; *3* – сфалеритовые руды; *4* – известняки и ангидриты



аргентит, гематит, полианит, реальгар, кварц, серицит, алунит, анкерит, иуниит, эпидот-цоизит, пумпеллиит, диккит и галлуазит.

В рудах отмечаются несколько генераций пирита. Сфалерит, пирротин и часть галенита отлагались после кристаллизации большей части пирита. Сфалерит и ранний галенит содержат многочисленные включения мелких кристалликов более позднего пирита и марказита, сильно усложняющих обогащение руд. Запасы руд месторождения составляют 45 млн. т при содержании 3% свинца, 9% цинка, 0,15% меди, 85–142 г/т серебра и 0,23% висмута.

Месторождение разрабатывалось на серебро с XVI века. С 1937 г. на нем производится также добыча свинца, цинка, меди и извлекается много попутных полезных компонентов. Мощность горно-обогатительного предприятия – около 2 млн. т добычи руды в год при производстве (в концентрате) 40,8 тыс. т свинца и 142,2 тыс. т цинка. В 1977 г. на обогатительную фабрику поступили руды, содержащие в среднем 3,2% свинца, 8,5% цинка и 76,6 г/т серебра.

Запасы другого крупного месторождения *Касапалка* оценивались в 365 тыс. т свинца, 770 тыс. т цинка и 160 тыс. т меди. Среднее содержание в рудах свинца составляет 4%, цинка 8%, меди 1,8% и серебра 368 г/т. Месторождение имеет зональное строение. Залежи полиметаллических руд столбообразной формы приурочены к третичным осадочным породам, переслаивающимся с эффузивными образованиями и прорванным монцонит-порфирами. Оруденение прослежено по вертикали на 1340 м. Промежуточную преобладающую часть этого рудного разреза слагают свинцово-цинковые руды, богатые серебром. Рудные минералы представлены сфалеритом, галенитом и тетраэдритом, местами с большим количеством бурнонита, из жильных минералов встречается родохрозит. Кверху свинцово-цинковые руды переходят в богатые эпитермальные серебряные руды с аргентитом и пираргиритом и, наконец, в низкосортные руды, содержащие стибнит и реальгар. В нижних горизонтах центральной части структуры содержится меньше серебра и больше меди.

Многочисленные месторождения полиметаллических руд, связанные с третичным магматизмом, издавна разрабатываются в Центральном Перу (район Морокочи). Характерной особенностью их является плащеобразная форма рудных залежей – „манто" (рис. 111).

Месторождение *Морокоча* представлено метасоматическими пластообразными залежами в известняках и трубообразными телами, возникшими в узлах пересечения разноориентированных трещин. В руде содержится 1,15% меди, 9% свинца, 4,7% цинка и 100 г/т серебра.

Общие запасы свинца в стране оцениваются в 4,3 млн. т и цинка в 10 млн. т, в том числе доказанные запасы соответственно составляют 3,2 и 7,3 млн. т при содержании их в рудах 1,4–8,3 и 3,6–13,0%. В 1980 г. производство свинца в концентрате составило 189,3 тыс. т, цинка 486,9 тыс. т и серебра 1486,7 т.

К третичному возрасту относится бóльшая часть многочислен-

ных месторождений полиметаллических руд Боливии, сосредоточенных в Кордильерах, на протяжении рудного пояса Перу. Они плохо изучены и почти не осваиваются промышленностью.

Наиболее крупным при современном состоянии изученности представляется месторождение *Матильда,* расположенное на границе с Перу. Рудные жилы приурочены к нижнедевонским глинистым и слюдистым сланцам, в которых они образуют две относительно протяженные зоны. Отдельные жилы прослеживаются по простиранию на сотни метров при мощности от 2 до 6 м и по падению на 300 м. Руды существенно сфалеритовые. Галенит в них относится к более поздней фазе минерализации и образует импреньяции в боковых породах. Достоверные запасы руд месторождения Матильда составляют 3,6 млн. т при содержании свинца 2,5%, цинка 17–18%, меди 0,4% и серебра 50 г/т. Возраст оруденения остается неясным.

С большей достоверностью удается установить возраст второго по значению полиметаллического месторождения *Уанчака,* где рудные (в основном баритовые) жилы приурочены к сланцам мелового возраста и к прорывающему их третичному дацитовому штоку. Содержание цинка в этих рудах составляет 3,5%, свинца 1,5% и серебра 467 г/т. Запасы руд в 1944 г. оценивались в 2,7 млн. т. В 1980 г. в Боливии произведено 17,2 тыс. т свинца в концентратах, 50,3 тыс. т цинка и 189 т серебра.

К кайнозою относится полиметаллическое месторождение *Эль-Мочито* в Гондурасе. В 1979 г. здесь переработано 362,6 тыс. т руды, из которой получено 24,3 тыс. т свинца, 18 тыс. т цинка, 204 т кадмия, 75,7 т серебра и 46,7 кг золота. Запасы руд составляют 7,2 млн. т.

Из других стран Латинской Америки можно отметить Чили, где известны небольшие месторождения полиметаллических руд, связанные с липаритами третичного возраста. Ряд месторождений этого возраста открыт также в Колумбии.

Кайнозойские полиметаллические месторождения сравнительно широко распространены в странах Средиземноморского бассейна. Среди них наибольший интерес представляет месторождение *Трепча,* расположенное в южной части Югославии. Рудное поле этого месторождения представляет собой брахиантиклинальную складку, сложенную нижнепалеозойскими филлитами, серицито-кварцевыми и хлорито-кварцевыми сланцами, мраморизованными известняками и кварцитами. В замковой части структуры (рис. 112) расположено эруптивное жерло, вмещающее третичный шток трахитов и выполненное вулканической брекчией. Рудные залежи располагаются прерывистой цепью общей длиной 1000–1200 м в зоне контакта мраморизованных известняков с филлитами, сланцами и вулканической брекчией, а также внутри горизонта известняков. В. Н. Выдрин выделяет в формировании месторождения четыре стадии минерализации, которые разделялись тектоническими подвижками: 1) образование ильваит-геденбергитовых скарнов с гранатом, амфиболом, эпидотом, магнетитом и

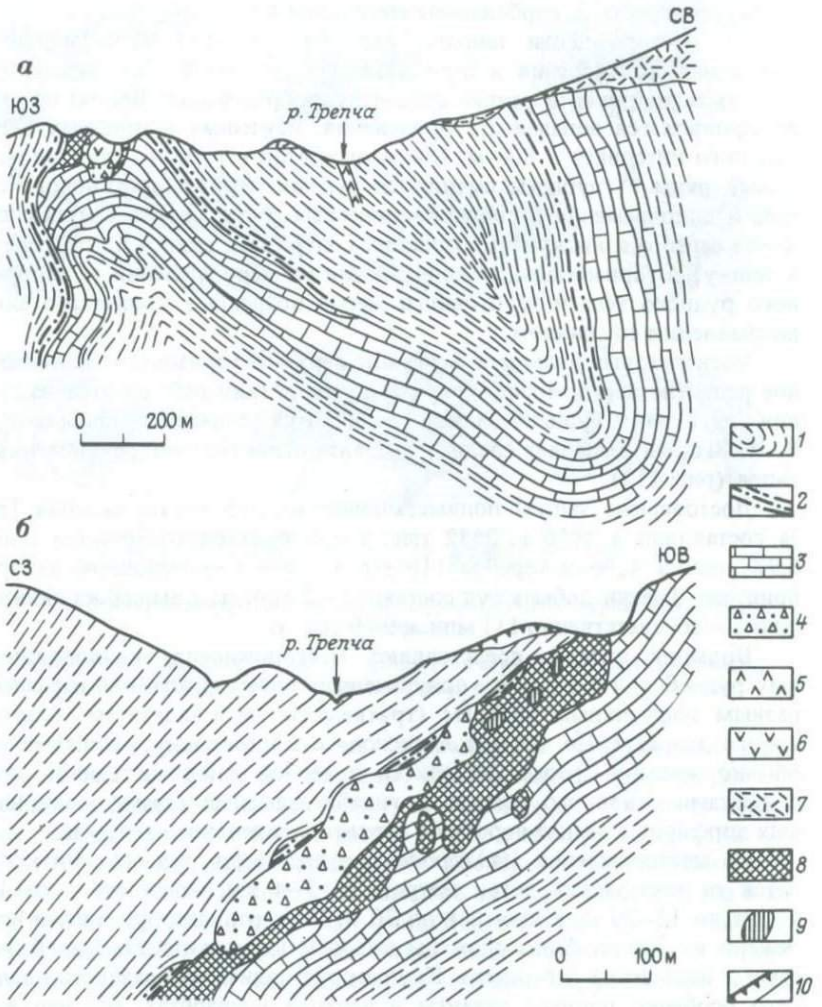


Рис. 112. Разрезы района и месторождения Трепча *(по В. Н. Выдрину)* :

а – схематический разрез синклинали Стари Трг Трепча – Мельеница;
б – продольный разрез месторождения Трепча.

1 – филлиты и серицито-кварцевые сланцы; *2* – кварциты; *3* – мраморизованные известняки; *4* – эруптивная брекчия; *5* – долериты и серпентиниты; *6* – трахиты; *7* – туфы и туфобрекчии с прослоями песчаников и конгломератов; *8* – свинцово-цинковые руды; *9* – магнетитовые руды; *10* – травертины

пиритом; 2) отложение пирит-пирротиновых руд; 3) формирование свинцово-цинковых руд (главная стадия оруденения); 4) отложение друзовых агрегатов, карбонатных минералов и кварца.

На месторождении широко развиты процессы псевдоморфного замещения, растворения и переотложения рудных и жильных минералов, выделившихся в ранние стадии рудообразования. Весьма отчетливо проявляется зональность оруденения, изученная в пределах вертикального интервала в 800 м. Она выражается в том, что свинцово-цинковые руды с глубиной сменяются рудами пирит-пирротинового состава и одновременно в свинцово-цинковых рудах увеличивается содержание серебра и висмута и возрастает содержание свинца по отношению к цинку; в горизонтальном направлении по мере удаления от центрального рудного тела и эруптивного жерла возрастает количество цинка по сравнению со свинцом.

Магнетитовые руды приурочены к верхним горизонтам. Максимальное развитие псевдоморфоз пирита по пирротину наблюдается на средних глубинах. Рудные залежи отличаются сложными формами, и В. Н. Выдрин выделяет среди них девять структурно-морфологических типов (рис. 113).

Достоверные запасы полиметаллических руд месторождения Трепча составляли в 1950 г. 3652 тыс. т при среднем содержании свинца 6,9%, цинка 4,3% и серебра 118 г/т. В 1979 г. в основном на предприятиях Трепчи добыча руд составила 4,2 млн. т, а выплавка свинца и цинка – соответственно 111 млн. и 98,9 тыс. т.

Большой интерес представляют месторождения свинцово-цинковых руд Болгарии, приуроченные преимущественно к разнообразным эффузивным породам (трахиандезитам и андезитам) олигоценового возраста. По данным Атаносова и Бересковску, рудные залежи обычно жильной формы находятся в тесной пространственной связи с дайками основного состава и гипабиссальными телами монцонитовых порфиров и сиенит-порфиров верхнеолигоценового возраста.

На месторождении *Маджарово* протяженность рудных жил колеблется от нескольких сотен метров до 3–4 км, мощность – от 10–15 см до 15–20 м, а иногда и до 30 м. По вертикали оруденение прослежено на 700 м. Жилы сложены кварцем нескольких генераций, местами с кальцитом и баритом. Крупнокристаллические разности последнего особенно широко развиты в верхних горизонтах, где они ассоциируют с халцедоном, халцедоновидным кварцем, аметистом и кварцем гребенчатого строения. В этих горизонтах основным рудным минералом является галенит, агрегаты которого с незначительной примесью других сульфидов образуют крупные гнезда массивной руды. В более глубоких горизонтах наблюдается вкрапленная галенит-халькопирит-сфалеритовая минерализация, часто с преобладанием цинка и меди над свинцом; барит и халцедон отсутствуют. Кроме названных минералов, в рудах часто встречаются вюртцит и гематит, несколько реже марказит, арсенопирит, теннантит и буланжерит.

В Испании к кайнозойской эре относится образование много-

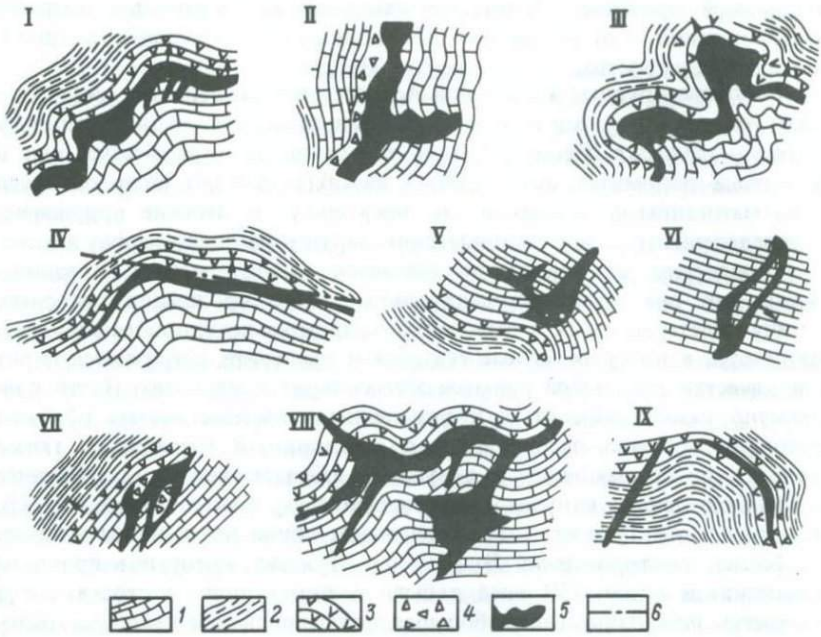


Рис. 113. Структурно-морфологические типы рудных тел месторождения Трепча *(по В. Н. Выдрину)*:

1 – мраморизованные известняки; *2* – филлиты и серицито-кварцевые сланцы; *3* – кварциты; *4* – брекчия; *5* – рудные тела; *6* – разрывные нарушения

численных месторождений района Сьерра-Невада, приуроченных преимущественно к третичным дацитам. Месторождения отличаются небольшими размерами, но высоким качеством руд, в которых содержание свинца достигает 5–6%, цинка 7–8%, а серебра 1000–1500 г/т.

Много мелких полиметаллических месторождений замещения в неогеновых карбонатных породах известно на территории Греции; часть из них разрабатывалась еще финикийцами. Хотя руды отличаются комплексным составом и высоким содержанием полезных компонентов, добыча их в настоящее время осуществляется в ничтожных масштабах.

Месторождения свинца и цинка раннетретичного возраста издавна разрабатываются в Турции. Запасы металла в них не превышают нескольких десятков тысяч тонн. Достоверные запасы свинца в целом по стране исчисляются в 50 тыс. т, цинка – в 40 тыс. т при содержании свинца в рудах от 8 до 25% и цинка от 4,7 до 15%.

Весьма обширная провинция полиметаллических руд расположена в Северной Африке, где она протягивается из Туниса в западном направлении через Алжир и центральную часть Марокко. В пределах этой рудной провинции месторождения не являются одновозрастными, и образование их, по-видимому, связано с различными фазами

альпийской орогении. Отмечается закономерное изменение возраста месторождений – от эоценового до миоценового – по мере продвижения с запада на восток.

Наиболее крупные в Северной Африке ресурсы свинца и цинка сосредоточены в Марокко, где особенно выделялся рудный район *Бу Бекер – Туиссит*. Месторождения замещения и вкрапленных руд в лейасовых доломитах этого района не обнаруживают видимой связи с магматогенными породами, но поскольку оруденение приурочено к определенным зонам тектонических нарушений одной из фаз альпийской орогении, минерализация считается моложе мела и предполагается, что она предшествовала миоцену. Месторождения относятся к типу телетермальных и отличаются сравнительно однообразным составом руд, в которых, кроме галенита и сфалерита, встречаются пирит и в качестве небольшой примеси халькопирит и марказит. Почти повсеместно развит малахит, а в окисленных участках весьма обильны смитсонит, обычно переходящий в растворимый госларит, а также англезит, превращающийся в церуссит с образованием гипса. Среднее содержание свинца в рудах месторождения Бу Бекер составляло 7%, месторождения Туиссит – 5%, содержание цинка почти вдвое меньше.

Запасы месторождений Бу Бекер – Туиссит, которые в прошлом обеспечивали около 75% всей добычи свинца и цинка в стране, почти полностью исчерпаны. Теперь бóльшая часть свинца добывается на месторождении *Зайда* в районе Мидельт. Месторождение расположено в центральной части Атласских гор на высоте 3737 м. Приурочено оно к аркозовым песчаникам, заполняющим древнее русло триасовой речной системы, и представлено лентообразной рудной залежью, вытянутой в длину более чем на 1 км при ширине около 100 м. Мощность рудных тел варьирует от 0,5 до 10 м. Глубина их залегания не превышает 90 м. Рудная минерализация представлена рассеянной вкрапленностью церуссита (70%) и галенита (30%), встречаются англезит, ванадит и вульфенит. На 1 января 1978 г. запасы месторождения исчисляются в 11,6 млн. т руды с содержанием 3,8% свинца и до 200 г/т серебра. Месторождение разрабатывается с 1972 г. Эксплуатация производится открытым способом. Ежегодно на нем производится 40 тыс. т свинцового концентрата. Общие и разведанные запасы свинца в Марокко составляют 1,4 млн. т и цинка 0,5 млн. т, а производство этих металлов в концентрате составило в 1980 г. соответственно 128 тыс. и 8 тыс. т; производство серебра достигло 100 т.

Более 50 небольших месторождений свинца и цинка известно в Тунисе. Большая их часть расположена в северной части Тунисской депрессии и приурочена к зонам крупных тектонических нарушений в верхнемеловых и эоценовых карбонатных породах. В месторождениях развиты собственно свинцово-цинковые и собственно цинковые руды. В минералогическом отношении руды довольно однообразны и обычно содержат только сфалерит, галенит и пирит, а в зонах окисления также смитсонит и церуссит. Общие запасы свинца в Тунисе оцениваются в 330 тыс. т, цинка в 550 тыс. т. Добыча руд незначительная;

суммарное производство свинца и цинка в концентрате не превышает 20 тыс. т в год.

Аналогичные месторождения полиметаллических руд широко распространены в А л ж и р е. Они залегают в породах различного возраста, начиная от докембрийских гнейсов и кристаллических сланцев и кончая верхнемеловыми карбонатными отложениями. Бóльшая часть этих месторождений связывается с альпийскими орогеническими движениями.

Месторождение *Уарсенис* приурочено к лейасовым известнякам; основу месторождения составляют окисленные руды, представленные главным образом смитсонитом и каламином, в которых содержание цинка достигает 18%, а серебра – 900 г/т.

Ряд исследователей относят к третичному возрасту многочисленные месторождения свинца и цинка в Н и г е р и и. Все они сосредоточены в пределах протяженного пояса (около 550 км) нижнемеловых (дотуронских) пород, представленных глинистыми сланцами, песчаниками, аргиллитами и реже известняками. Залегающие в этих породах рудные жилы отличаются разнообразными размерами; иногда протяженность системы жил достигает нескольких тысяч метров при длине отдельных жил до нескольких сотен метров. Основные рудные минералы – сфалерит, галенит и реже халькопирит. В некоторых месторождениях доминирует марказит. Сама жильная порода состоит из кварца с примесью кальцита, сидерита, иногда барита. Во многих жилах сидерит преобладает. В зоне окисления развиты главным образом церуссит и англезит. Встречаются жилы, в которых среднее суммарное содержание свинца и цинка превышает 20–30%. Перспективные запасы свинца в этом районе оценивается в 110 тыс. т, а цинка – в 550 тыс. т.

В Азии промышленные кайнозойские месторождения свинца и цинка встречаются сравнительно редко. Кроме упомянутых выше месторождений Турции, полиметаллические руды этого возраста известны в Японии и КНДР; возможно, что аналогичные месторождения имеются и в КНР, где свинец и цинк извлекаются из элювиальных и делювиальных россыпей.

В Я п о н и и к ним относятся преимущественно метасоматические месторождения в известняках, обычно ассоциирующие с дайками андезитов третичного возраста. Рудные залежи в виде гнезд неправильной формы сложены серебросодержащим галенитом, сфалеритом, халькопиритом, окисленными медными минералами, пиритом, арсенопиритом и самородным висмутом.

Однако основные ресурсы свинца и цинка сосредоточены в крупнейшем в стране месторождении *Камиока,* приуроченном к пироксеновым скарнам, прорванным альпийскими гранитоидами. Общие и доказанные запасы свинца месторождения составляют 600 тыс. т и цинка более 3000 тыс. т при содержании этих металлов соответственно 0,3–2,5% и 4,5–8,5%. В 1979 г. вблизи Камиока открыто новое месторождение, в рудах которого, по предварительным данным, среднее содержание свинца составляет 1,6%, цинка 19,2% и серебра 41 г/т.

Промышленные концентрации свинца и цинка встречаются в ряде месторождений медных руд, метасоматические залежи которых приурочены к контакту туфов и сланцев с липаритами и андезитами. Обычно они представляют собой сложную сеть руд трех типов: 1) куроко – смесь галенита и сфалерита, сопровождаемых халькопиритом и пиритом, 2) око – массивный кристаллический пирит и 3) кейко – силицифицированный липарит или туф с небольшой примесью сульфидов. Руды отличаются весьма изменчивым составом. Содержание в них меди составляет в среднем 2%, содержание свинца колеблется от десятых долей процента до 7%, а иногда и более.

Доказанные запасы цинка в Японии составляют 4 млн. т и свинца 0,8 млн. т при их среднем содержании в рудах 6,2 и 0,8%. В 1980 г. производство этих металлов соответственно составило 238,1 и 44,8 тыс. т, а производство серебра – 276,2 т.

В К Н Д Р месторождения свинца и цинка связаны с мезо-кайнозойскими гранитами и образуют жильные тела в докембрийских кристаллических породах или контактовые залежи неправильной формы в палеозойских известняках и доломитах. Содержание свинца в рудах изменяется от 1,5 до 12,6%, цинка – от 1,7 до 19,3%.

В С С С Р кайнозойские месторождения полиметаллических руд пользуются ограниченным распространением. Заслуживающие внимания месторождения известны на Кавказе и на Дальнем Востоке. По мнению ряда исследователей, третичным является также полиметаллическое оруденение в районе Тетюхе, которое нами отнесено к мезозойскому возрасту. Проявления кайнозойского свинцово-цинкового оруденения телетермального типа встречаются в Средней Азии. В Киргизии, например, известны свинцово-цинковые руды, приуроченные к третичным конгломератам.

ОЛОВО, ВОЛЬФРАМ

Бóльшая часть мировых ресурсов олова и значительная часть ресурсов вольфрама заключена в месторождениях кайнозойской эпохи рудообразования. В капиталистических и развивающихся странах около 70% всех запасов олова относятся к россыпным месторождениям, которые образовались в основном в третичное и четвертичное время. Особенно крупные запасы олова сосредоточены в богатейших россыпных месторождениях Малаккской оловоносной провинции; эти россыпи непосредственно связаны с коренными месторождениями олова, относящимися к мезозойскому возрасту, и охарактеризованы вместе с ними в разделе „Мезозойская эпоха рудообразования".

Многочисленные россыпи олова известны в ряде стран Африки, особенно на территории Нигерии и Заира, где они являются главными источниками этого металла; удельный вес коренных месторождений в этих странах сравнительно невелик.

В Н и г е р и и разрабатываются россыпи, в которых наряду с касситеритом присутствуют колумбит, танталит и вольфрамит. Наи-

более богатые россыпи со средним содержанием касситерита около 1000 г/м^3 большей частью уже отработаны, и в настоящее время среднее содержание касситерита в добываемых песках обычно не превышает 300 г/м^3. Разработки россыпей производятся не только с поверхности, но и с применением подземных выработок глубиной до 25 м.

В Заире содержание касситерита в разрабатываемых аллювиальных россыпях значительно выше, чем в россыпях Нигерии, и достигает 750–1900 г/м^3. Кроме того, здесь ведется попутная добыча тантала и ниобия. Общие запасы олова оцениваются в 200 тыс. т, причем значительная их доля приходится на россыпные месторождения. Более высок удельный вес последних и в добыче олова, но точные данные по этому вопросу отсутствуют.

Промышленные оловоносные россыпи известны в ряде районов Австралии. В западной части континента в области древнего кристаллического щита основными источниками их питания служили докембрийские пегматиты и отчасти более поздние касситерито-кварцевые жилы и минерализованные граниты. Отдельные россыпные месторождения отличаются повышенным содержанием касситерита (более 2000 г/м^3) и часто содержат в промышленных концентрациях тантало-ниобаты и золото. Оловоносные россыпи разрабатываются также в восточных провинциях Австралии, где по размерам достоверных запасов (17 тыс. т, при среднем содержании касситерита 231 г/м^3) выделяется месторождение *Маунт Гарнет.*

Большой интерес представляет аллювиальная оловоносная россыпь *Брайзерс*, расположенная на о. Тасмания, в долине р. Рингурама. Мощность аллювиальных отложений этой долины, состоящих преимущественно из крупнозернистого кварцевого песка, достигает 150 м. Местами они погребены под базальтами. Распределение касситерита в россыпи весьма неравномерное. В разрабатываемых участках среднее содержание его составляет 1500–2000 г/м^3. Вместе с касситеритом в россыпи присутствуют турмалин, монацит, топаз, корунд, циркон, пирит. Попутно касситерит извлекается из золотоносных россыпей штата Виктория и широко распространенных в Австралии рутил-ильменитовых россыпей.

Годовая добыча олова в Австралии до 1964 г. не превышала 3 тыс. т, причем бóльшая часть добывалась из коренных месторождений. После 1964 г. в связи с расширением добычи в основном на рудниках *Ренисон-Белл* и *Маунт-Кливленд* в Тасмании она стала возрастать и в 1980 г. достигла 11,8 тыс. т. Общие запасы олова в коренных и россыпных месторождениях оцениваются в 350 тыс. т, а доказанные составляют 208 тыс. т; часть оловоносных россыпей Австралии образовалась, вероятно, в дотретичное время.

Крупные коренные месторождения третичного возраста сосредоточены в Южно-Американской оловоносной провинции.

Особенно большими ресурсами олова располагает Боливия. Полоса распространения месторождений, приуроченная к Восточной

и Центральной Кордильерам (Боливийские Анды), протягивается от границы с Перу на севере до границы с Аргентиной на юге. В пределах этой обширной провинции проявилась весьма разнообразная рудная минерализация, и в зависимости от основных минералов, ассоциирующих с касситеритом, выделяются месторождения собственно оловянных, оловянно-серебряных, оловянно-цинковых, оловянно-вольфрамовых и других разновидностей оловянных руд. Кроме того, здесь известны крупные месторождения вольфрама, свинца и цинка, серебра и сурьмы.

По геологическому строению и характеру оруденения в Боливии выделяются два района: Северный и Южный.

Северный район, или район Кордильера-Реаль, характеризуется проявлением высокотемпературной эндогенной минерализации, генетически связанной с гранодиоритовыми интрузиями, которые, по предположению многих исследователей, представляют собой апикальные части единого крупного батолита. Оловянно-вольфрамовые руды залегают среди гранодиоритов или во вмещающих их палеозойских сланцах и песчаниках и в непосредственной близости от контакта. Преимущественно развиты оловоносные пегматиты и кварц-турмалиновые жилы, в которых основными рудными минералами являются касситерит и вольфрамит, в подчиненном количестве присутствуют шеелит, пирротин, арсенопирит и пирит; жильные минералы представлены кварцем и турмалином. Небольшие касситерит-кварцевые жилы встречаются и в некотором удалении от контакта с гранодиоритами, в малоизмененных песчаниках и сланцах за пределами контактово-метаморфического ореола, где развиты преимущественно свинцово-цинковые руды. В еще большем удалении от контакта широко распространены кварц-стибнитовые жилы.

Оловянно-вольфрамовые месторождения Северного района сосредоточены в зоне длиной около 240 км. Запасы наиболее крупных из них – *Монсерат, Хуанани* – не превышают 8–10 тыс. т олова (вместе с россыпями). Наиболее крупные месторождения вольфрамовых руд – Акцессион и Пакуни, вольфрамит-сульфидно-висмутовых руд – *Тасна*.

Основные запасы олова сосредоточены в Южном районе, где магматическая деятельность выражена в форме эффузивных образований (третичные андезитовые лавы и туфы), связанных с ними этмолитов и некков (корней излияний) и небольших субвулканических штоков и даек гранит-порфиров, кварцевых порфиров и риолитов. В ряде мест они интрудируют третичные брекчии и туфы, что в совокупности с характером проявленной минерализации свидетельствует о близповерхностном формировании рудных залежей.

Рудная минерализация района отличается большим разнообразием. Среди промышленных руд выделяются богатые оловянные разности преимущественно касситерит-сульфидной формации, оловянно-серебряные и оловянно-цинковые руды, вольфрамовые руды, содержащие

преимущественно ферберит, гюбнерит, шеелит и реже вольфрамит, свинцово-цинковые руды, бедные серебром и сурьмяные руды.

Среди крупных оловорудных месторождений района по масштабам минерализации особенно выделяется месторождение *Лалагуа*. Оруденение в нем приурочено к жерловине вулкана, сложенной кварцлатитовым порфиром, который прорывает палеозойские граувакки и песчаники. В порфирах интенсивно проявлены процессы замещения турмалином, серицитом и кварцем. Месторождение включает сотни жил (рис. 114), длина которых колеблется от нескольких метров до 1000 м, а иногда и более. Мощность их изменяется от нескольких десятков сантиметров до 6–7 м. Встречаются участки штокверковых руд.

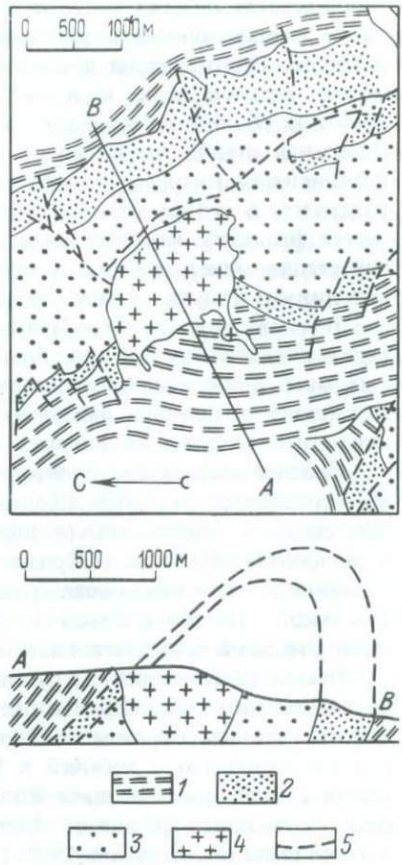


Рис. 114. Схема геологического строения месторождения Лалагуа:

1 – сланцы; *2* – песчаники; *3* – граувакки; *4* – порфиры; *5* – тектонические нарушения

Выделяется несколько стадий минерализации. Наиболее ранняя стадия представлена кварцем, висмутином и обильным касситеритом, следующая – пирротином и франкеитом; в последнюю стадию происходило отложение небольшого количества станнина и сфалерита. В разрабатываемых рудных жилах вместе с кварцем обильно развит турмалин. Среди сульфидов преобладает пирротин, в значительных количествах постоянно присутствуют пирит, касситерит, станнин, марказит и арсенопирит. Содержание олова с глубиной резко снижается. Так, в верхних горизонтах месторождения содержание олова достигало 12–15%, а в последнее время добывались руды с содержанием 0,5–2% металла.

По размерам запасов месторождение Лалагуа является одним из крупнейших в мире. За период эксплуатации здесь добыто более 400 тыс. т олова, но оставшиеся запасы, разведанные до глубины 650 м, все еще составляют 130 тыс. т олова при среднем содержании его в рудах 0,86%.

Меньшими масштабами минерализации отличаются сходные с мес-

торождением Лалагуа оловянные месторождения *Хуанани* и *Кольквири*, а также оловянно-серебряные месторождения *Потоси, Чокайа* и *Оруро*. Рудные жилы последних залегают как внутри штоков кварцевых латитов, так и в ассоциирующих с ними вулканических брекчиях. В них также выделяются несколько стадий минерализации. Начальная стадия представлена в основном пиритом, касситеритом и подчиненным кварцем, а более поздняя – станнином, андоритом, тетраэдритом и сульфосолями свинца. Относительно редко в рудах встречается франкеит, который ассоциирует с галенитом в прожилках поздней стадии минерализации. К самой последней стадии относятся каолинит, ликкит и алунит, присутствующие в небольших количествах.

В условиях резко расчлененного рельефа Центральной Кордильеры редко создавались условия, благоприятные для накопления значительных масс оловосодержащего аллювия, поэтому россыпные месторождения олова в Боливии имеют второстепенное значение, и на их долю приходится не более 5% добычи.

Среднее содержание олова в рудах разрабатываемых месторождений колеблется от 1,46% (Кольквири) до 5,32% (Тасна). По последним данным, общие запасы олова в Боливии составляют 980 тыс. т и доказанные 400 тыс. т. Кроме Лалагуа, сравнительно крупными разведанными запасами олова располагают месторождения Кольквири (46 тыс. т), Потоси (32 тыс. т) и Хуанани (21 тыс. т). Запасы остальных месторождений исчисляются несколькими тысячами тонн.

Несмотря на наличие крупных запасов, добыча олова в Боливии до второй мировой войны не превышала 25–26 тыс. т в год, что объяснялось главным образом высокой стоимостью добычи и обогащения руд по сравнению с добычей в Малайзии и других странах Азии. Во время войны, после захвата Японией источников олова в Азии, мощность оловянных рудников Боливии резко возросла. Максимальная добыча была достигнута в 1945 г., когда она составила 43,2 тыс.т, после чего она стала падать и в 1958 г. снизилась до 18,0 тыс. т. В 1977 г. производство олова в концентрате достигло 33,6 тыс. т, а в 1980 г. снизилось до 27,5 тыс. т.

Общие запасы вольфрама в Боливии значительно уступают запасам олова и составляют всего 50 тыс. т в пересчете на WO_3, а годовая ее добыча не превышает 1,5 тыс. т.

Месторождения вольфрама представлены разнообразными генетическими типами. Преобладают пегматито-кварцевые и кварцево-сульфидные жилы, в которых вольфрамит большей частью связан с касситеритом. В них почти постоянно присутствуют шеелит, пирит, арсенопирит, висмутин, золото. Мощность жил в разрабатываемых месторождениях обычно колеблется от 0,3 до 1 м, а длина по простиранию – от 300 до 1000 м. Содержание WO_3 от 1,5 до 4,5%. Известен также ряд собственно шеелитовых месторождений. В рудах наиболее крупного месторождения *Акцессион* среднее содержание WO_3 достигает 3–5%. Руды некоторых месторождений отличаются повышенным содержанием меди (до 5–10%) и висмута (около 1%).

В Аргентине основные месторождения олова расположены в провинции Жужуй. Наиболее крупным месторождением здесь, вероятно, является *Пирквитес,* руды которого отличаются весьма пестрым составом и требуют применения сложных дорогостоящих методов обогащения. Они содержат кварц, касситерит, пирит, сфалерит, галенит, кераргирит, станнин, пираргирит, прустит, полибазит и марказит. Содержание олова колеблется в широких пределах и иногда достигает 16%. Коренные месторождения часто сопровождаются богатыми россыпями, в которых содержание касситерита составляло 500–800 г/м^3. В связи с интенсивной эксплуатацией большая часть россыпей уже истощена. В 1980 г. в Аргентине добыто всего 480 т олова (в концентрате).

С оловоносными месторождениями Аргентины ассоциируют месторождения вольфрама. Кроме того, известны вольфрамовые месторождения, генетически связанные с герцинскими гранитами. Существующая оценка общих запасов WO_3 в Аргентине – 5 тыс. т, вероятно, несколько занижена. Добыча WO_3 в 1980 г. составила всего 100 т.

В США уникальный тип вольфрамовой минерализации установлен в месторождении оз. *Серлс*, расположенном в северо-восточной части пустыни Мохаве (штат Калифорния). Вольфрам содержится здесь в рассоле, заполняющем поры и пустоты в соляном пласте, формирование которого происходило в течение ледниковых эпох Тахо и Тиога. Рассол занимает 47% объема пласта и отличается весьма сложным химическим составом. Предполагается, что вольфрам сконцентрировался в результате выщелачивания шеелита из ряда скарновых месторождений долины р. Оуэнс, а также вследствие привноса горячими источниками (совместный горячий источник *Кьоу* несет в своих водах примерно 0,00003% WO_3).

Соляной пласт распространен на площади около 90 км^2 при весьма изменчивой мощности – от нескольких сантиметров до 36 м. Запасы WO_3 в нем составляют 80 тыс. т. Производились исследования по разработке промышленных методов извлечения вольфрама непосредственно из первичного рассола.

К кайнозойской эпохе рудообразования в США, по-видимому, относится также ряд сравнительно небольших месторождений жильного типа касситерит-кварцевой формации. Возможно, что с нижнетретичным магматизмом связано образование эпитермальных ферберитовых вольфрамовых месторождений района Боулдер-Коунти в штате Колорадо. Многочисленные рудные жилы этих месторождений залегают среди докембрийских гранитов и метаморфических пород и отличаются небольшими размерами. Среднее содержание WO_3 в них составляет 1,5–3%, в обогащенных участках оно возрастает до 18–20%. Периодически эти месторождения разрабатывались.

Важное значение имеет разведанное в Аляске олово-вольфрам-бериллиевое месторождение *Лост-Ривер,* представленное интенсивно грейзенизированными третичными гранитами и их апофизами и дайками, а также оруденелыми приконтактными скарнами мраморизованных известняков нижнего ордовика. Наиболее крупным проявлени-

ем представляется риолитовая дайка *Касситеритовая* длиной более 3 км при средней мощности 3–3,5 м, в пределах которой промышленное оруденение прослежено на 700 м. Доказанные запасы олова в оловянных рудах составляют 2100 т при среднем содержании 1,3%, в комплексных оловянно-вольфрамовых рудах – 650 т олова и 500 т WO_3 при их средних содержаниях соответственно 0,76 и 0,6%.

К третичным кислым лавам в штатах Невада и Нью-Мексико приурочены мелкие месторождения „деревянистого" олова, мало интересные в практическом отношении.

В позднетретичное время образовались месторождения олова, разрабатываемые в Японии. Они генетически связываются с небольшими интрузиями гранит-порфиров, гранодиоритов и монцонитов, а также с вулканической деятельностью и залегают среди осадочных метаморфических пород палеозоя и мезозоя или в третичных риолитах. Большая часть их представлена касситерит-сульфидными рудами, в которых касситерит обычно ассоциирует с вольфрамитом и в существенных количествах присутствуют сульфиды, особенно халькопирит, сфалерит и галенит, иногда серебросодержащий. В одном из наиболее крупных месторождений – *Акенобе* – руды содержат в среднем олова 1,9%, меди менее 9% и серебра 70 г/т. Преобладает жильная форма рудных тел, причем отдельные жилы протягиваются по простиранию на несколько километров при мощности от десятков сантиметров до 8 м. Встречаются также неправильной формы метасоматические залежи. Общие запасы рудника Акенобе и соседнего Инуко составляют 20 тыс. т WO_3, а годовое производство ее концентратов – 1000 т. Попутно производятся медные, свинцовые и оловянные концентраты с извлечением серебра и золота.

На месторождении *Асно* рудные жилы и неправильной формы метасоматические хлорит-серицитовые залежи приурочены к некку риолитов. Основными рудными минералами в них являются халькопирит, касситерит и станнин. Известен ряд скарновых месторождений, приуроченных к контакту карбонатных пород с третичными гранитоидами. Они также представлены касситерит-сульфидными рудами, в которых среднее содержание олова достигает 2%. Вместо вольфрамита в этих рудах обычно присутствует шеелит. Встречаются сравнительно небольшие скарновые месторождения, представленные собственно шеелитовыми рудами с примесью сульфидов, но без касситерита. терита.

Оловоносные россыпи встречаются сравнительно редко. Разрабатываются небольшие плейстоценовые россыпи, в которых вместе с касситеритом присутствуют вольфрамит, магнетит, монацит, топаз, берилл, сапфир.

Общие запасы олова в Японии оцениваются в 9 тыс. т, а годовая добыча его не превышает 700 т. Запасы WO_3 составляют 25 тыс. т, а годовая добыча – 1,0 тыс. т.

В СССР с третичным магматизмом связан ряд касситерит-сульфидных месторождений в Приморском крае и на Чукотском полуострове.

МОЛИБДЕН

Около 80% всех достоверных запасов молибдена капиталистических и развивающихся стран заключено в месторождениях США, формирование которых связано с магматической деятельностью в кайнозое. Они сосредоточены в юго-западной части страны, где выделяется богатейшая в мире молибденовая и медно-молибденовая провинция на территории штатов Колорадо, Юта, Аризона и Нью-Мексико. На северном продолжении этой провинции расположены многочисленные месторождения собственно молибденовых и молибденсодержащих медно-порфировых руд Британской Колумбии, формирование которых преимущественно происходило в мезозое, а на южном – кайнозойские месторождения молибденсодержащих меднопорфировых руд Мексики, Панамы, Аргентины, Перу, Чили (см. медь).

Огромные запасы молибденовых руд заключены в уникальном месторождении *Клаймакс* (рис. 115), расположенном в штате Колорадо в северной части Скалистых гор, на высоте 3700 м. Район месторождения сложен докембрийскими гранитами, гнейсами и кристаллическими сланцами, а также палеозойскими кварцитами, конгломератами, песчаниками и известняками, перекрытыми песчаниками пермо-триаса и меловыми отложениями. Вся эта мощная толща пород нарушена крупными разломами и прорвана многочисленными дайками (иногда пластового типа) и штоками гранит-порфиров и монцонит-порфиров миоценового возраста. В непосредственой близости от месторождения происходит мощный сброс Москито с амплитудой смещения до 1500 м, прослеженный на протяжении десятков километров, и обнажаются монцонит-порфиры.

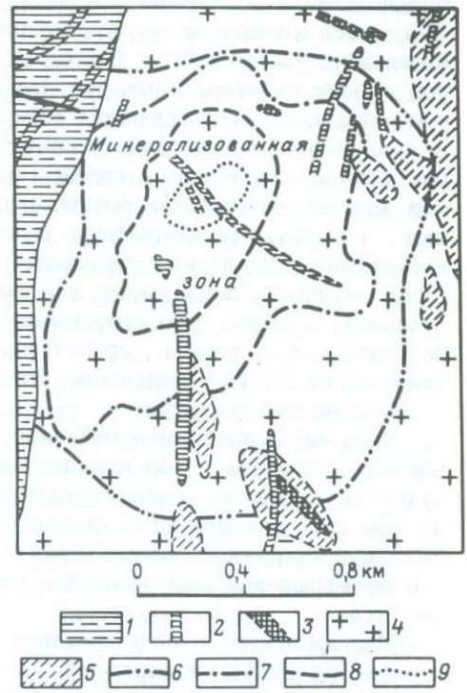


Рис. 115. Геологическая карта района молибденового месторождения Клаймакс в Колорадо *(по Дж. Вандервилту)*:

1 – палеозойские отложения; *2* – порфиры; *3* – диориты; *4* – граниты; *5* – сланцы; *6–9* – контуры зон: *6* – рудной, *7* – слабоокварцованной, *8* – сильноокварцованной, *9* – высокоокварцованной

Оруденение выражено мощной зоной окварцевания и серицитизации брекчированных докембрийских гранитов с четко проявленной горизонтальной концентрической зональностью.

Центральная часть месторождения, от 120 до 300 м в поперечнике, состоит почти нацело из плотного массивного безрудного кварца, и только во внешней зоне этого центрального ядра и в его более глубоких горизонтах проявляется слабая минерализация: содержание молибдена местами достигает 0,1%. Здесь на глубине вскрыт многофазный шток монцонит-порфиров, также частично минерализованный.

Вокруг центрального кварцевого ядра залегают три самостоятельных рудных тела: Сиреско, Верхнее и Нижнее. Каждое из них генетически и пространственно связано с одной из рудоносных фаз штока Клаймакс.

Наиболее крупным является Верхнее рудное тело, за счет разработки которого получена основная масса молибденовой продукции. Оно имеет кольцевую форму, мощность его 100–300 м, на глубину прослеживается до 400 м. Переход от интенсивно окварцованных пород к зоне промышленных руд постепенный, граница промышленных руд определена при бортовом содержании 0,1% молибдена. Породы в рудной зоне интенсивно раздроблены и окварцованы. Окварцевание мелкопрожилковое, в среднем на 1 м приходится 30–50 прожилков мощностью от долей миллиметра до 2 см. Кварцевые прожилки несут обильную молибденовую минерализацию. Кроме того, в них присутствуют пирит и в небольших количествах вольфрамит, касситерит, монацит, халькопирит, сфалерит, гюбнерит, а из нерудных – ортоклаз, серицит, флюорит, топаз. Вмещающие породы калишпатизированы, окварцованы, серицитизированы и пиритизированы. Изменение их настолько интенсивное, что местами сохранились лишь реликты их первичных структур.

Зона интенсивной молибденовой минерализации к периферии постепенно сменяется слабо измененными породами, несущими пиритовую минерализацию. С зоной пиритовой минерализации пространственно совпадает вольфрамовая, ее мощность достигает 150 м. Содержание WO_3 в обогащенных местах составляет 0,06%. Подобная зона внешней вольфрамовой минерализации установлена также у Нижнего рудного тела.

Месторождение эксплуатируется с 1915 г. подземным способом, а с ноября 1973 г. и карьером. За все время из недр добыто около 780 тыс. т молибдена. Оставшиеся запасы составляют порядка 250 млн. т руды, содержащей 0,198% молибдена и пригодной для подземной разработки, а также 158 млн. т руды (0,18% молибдена), пригодной для открытой добычи.

Ежегодный выпуск молибдена в концентрате около 24 тыс. т (из них примерно 8 тыс. т за счет открытой добычи). Извлечение молибдена в концентрат составляет 90%.

Рудник Клаймакс является также крупнейшим в США продуцентом вольфрама, содержание которого в рудах составляет около 0,03%.

Ежегодно здесь получают 700–800 т WO_3 в гюбнеритовом концентрате. Извлечение гюбнерита осуществляется с 1948 г., и с тех пор по настоящее время произведено около 18 тыс. т WO_3; оставшиеся ее запасы составляют 150–200 тыс. т. Кроме вольфрама из руд месторождения в небольших количествах извлекаются *касситерит* (40–50 т олова в касситеритовом концентрате), монацит, пирит.

В штате Нью-Мексико (350 км южнее месторождения Клаймакс) в непосредственной близости от жильного месторождения Квеста, разработка которого прекратилась в 1956 г., открыто месторождение штокверковых руд *Квеста II*, минерализованная зона которого прослежена буровыми скважинами и горными выработками на протяжении 25 км. В пределах этой зоны раздробленные и трещиноватые третичные андезиты, риолиты и прорывающие их дайки гранит-порфиров и кварцевых порфиров в различной степени насыщены тонкими кварцево-молибденовыми прожилками, а также пленками и примазками молибденита. Встречаются более мощные кварцевые жилы, в которых помимо молибдена присутствуют полевой шпат, биотит в подчиненном количестве – халькопирит, сфалерит, галенит, родохрозит и флюорит. Месторождение эксплуатируется с 1965 г. Разработка рудного штокверка (750 х 1200 м), прослеженного на глубину 210 м, ведется карьером. Годовое производство молибдена в концентрате около 5,0 тыс. т. Исходные запасы месторождения порядка 250 тыс. т при среднем содержании молибдена 0,097%. Запасы молибдена в контуре карьера уже в значительной мере отработаны. Ведутся работы по подготовке к освоению другого штокверка (1500 х 480 м) в этом районе – Гоут Хилл, запасы которого составляют 244 тыс. т молибдена при среднем содержании его в руде 0,192%.

Более крупными запасами (807 тыс. т молибдена) и более богатыми рудами (0,253%) характеризуется разведанное в последнее время в штате Колорадо месторождение *Гендерсон*. Штокверковое оруденение приурочено к контактовой зоне штока миоценовых монцонит-порфиров с докембрийскими гранитами и сланцами. Верхняя ее граница находится на глубине 700 м от дневной поверхности. Разработка месторождения началась в 1977 г. Пройдены три шахты глубиной до 950 м и откаточная штольня длиной 16 км. Ожидают, что в 1982 г. производство молибдена в концентрате достигает 23 тыс. т.

В *Пайн-Ралли* в горах Уа-Уа (штат Юта) в результате бурения четырех глубоких скважин выявлено вольфрамово-молибденовое оруденение на глубине 1–1,5 тыс. м от поверхности. Мощность рудного интервала по двум скважинам составляет 60–290 м; две скважины не вышли из рудной зоны. Полагают, что среднее содержание MoS_2 в зоне достигает 0,29–0,38%, а общие запасы руд, принимая в среднем мощность рудной зоны 175 м, примерно оцениваются в 100–105 млн. т.

К неогену относится формирование молибденового месторождения *Куотс-Хилл* (абсолютный возраст 26 млн. лет), расположенного в юго-восточной части Аляски. Общие запасы его оцениваются в 1,18 млрд. т руды; среднее содержание молибдена 0,078%, бортовое 0,03%. По раз-

мерам запасов (918 тыс. т молибдена) месторождение уже занимает первое место в мире. По плану добыча начнется в 1985 г. и будет вестись в течение 40 лет с годовой стоимостью добытого сырья 150–200 млн. долл.

Компания „Стандарт ойл К" утвердила более 300 млн. долларов на разработку молибденового месторождения *Томпсон Крик* (штат Айдахо). Рудное тело, известное с 1967 г., обладает запасами не менее 180 млн. т руды, содержащей в среднем 0,18% молибденита. Руду можно добывать открытым способом. Планом предусмотрено извлечение 8,2 тыс. т молибдена в год по содержанию в концентрате. На начало 1981 г. суммарные запасы молибдена в США (с учетом их в меднопорфировых месторождениях) оцениваются в 3,4 млн. т, а достигнутое его годовое производство в концентрате – более 67 тыс. т. Доказанные запасы молибдена в кайнозойских месторождениях других несоциалистических стран, целиком сосредоточенные в меднопорфировых рудах, оцениваются в 2,8 млн. т (из них в Чили – 2,0 млн. т), а достигнутое его годовое производство – только 15 тыс. т (13,7 тыс. т).

РТУТЬ, СУРЬМА

К кайнозойской эпохе рудообразования относится бóльшая часть известных в мире месторождений ртути и сурьмы. По ресурсам ртути они немного превышают месторождения палеозойской эпохи, к которой с большой долей условности отнесены крупные запасы ртути месторождения Альмаден в Испании. С кайнозойскими проявлениями магматизма связаны крупные месторождения ртути Италии, Югославии, США, Мексики, Перу, Алжира, Турции, а также многочисленные месторождения сурьмы Боливии. Более мелкие месторождения сурьмы и ртути этого возраста известны во многих других странах.

В Италии доказанные запасы ртути (14 тыс. т) сосредоточены в районе *Тосканы*, где на склоне горы Монте-Амьята расположена группа наиболее крупных ртутных месторождений. Общая протяженность рудоносной зоны превышает 30 км при ширине до 8 км. Район сложен сланцами и известняками лейаса и мела, а также песчаниками, сланцами и известняками эоцена. Осадочные породы перекрыты трахитами, излившимися из вулкана Монте-Амьята.

Ртутная минерализация проявлена в зонах разломов, на контакте известняков мела и верхнего лейаса с покрывающими и подстилающими их сланцами под покровами трахитов, а также в самих трахитах. Известняки на контакте с подстилающими рудоносными песчаниками интенсивно изменены, превращены в глинистую охристую массу, содержащую обломки известняка и песчаника, и покрыты железистой коркой. Эти участки отличаются наиболее высоким содержанием киновари, образующей в глинистых скоплениях значительные концентрации.

В трахитах киноварь проявлена в форме прожилков, в песчаниках она образует различной густоты вкрапленность. Рудная залежь наиболее

крупного месторождения *Аббадиа-сан-Сальваторе* залегает под покровом трахита и представляет собой зону брекчии, сцементированной глинистым материалом. Ртутная минерализация обусловлена поствулканическими гидротермальными процессами, продолжающимися до настоящего времени.

Оруденение в районе Монте-Амьята прослеживается до глубины 400 м. В добываемых товарных рудах среднее содержание ртути составляло в 1970–1976 гг. 0,44–0,67%. Кроме киновари, руды содержат антимонит, реальгар, аурипигмент, самородную серу и флюорит. В небольших количествах встречается самородная ртуть.

В районе Монте-Амьята, так же как и в ряде других районов Италии, имеются и собственно сурьмяные месторождения, постоянно ассоциирующие с ртутными месторождениями. Наиболее крупное из них – месторождение *Перетта* в Тоскане – представляет собой пластообразную залежь брекчиевидного кварца в эоценовых глинах и известняках. Она прослеживается по простиранию на 1 км при мощности от 5 до 15 м. Почти единственным рудным минералом является антимонит, весьма неравномерно распределенный в кварце в форме отдельных агрегатов, прожилков и гнезд. Достоверные запасы сурьмы составляют 100 тыс. т при содержании 2–3,5%.

В 1958 г. добыча ртути в Италии составила 2024 т; в 1959 г. она снизилась до 1581 т, в 1960 г. достигла 1902 т, в 1975 г. снизилась до 1092 т, в 1976 г. до 768 т и была полностью прекращена из-за нерентабельности ее производства в период очень низких цен, при которых издержки производства в четыре раза превышают доходы.

С третичным вулканизмом связано месторождение *Идрия*, расположенное в Югославии; у отрогов Юлийских Альп. Месторождение относится к числу крупнейших в мире и разрабатывается непрерывно свыше 450 лет. Район месторождения отличается сложным геологическим строением. Здесь наблюдается система опрокинутых антиклинальных складок, нарушенных многочисленными надвигами, в результате которых отложения триаса налегают на меловые известняки и перекрываются сланцами карбона, а меловые известняки подстилаются флишевыми осадками эоцена. Наиболее богатые руды приурочены к триасовым доломитам и их брекчиям, перекрытым сланцами карбона, которые, по мнению исследователей, служили экраном для минерализующих растворов.

Менее интенсивная ртутная минерализация проявлена в триасовых песчаниках и сланцах. Рудные залежи неправильной формы сложены в основном кальцитом, доломитом и кварцем; редко встречаются барит и флюорит. Из рудных минералов, кроме киновари, постоянно присутствуют аморфный метациннабарит и пирит; часты скопления самородной ртути. Из вторичных минералов встречаются эпсомит, галотрихит, мелантерит и гипс.

Среднее содержание ртути в добываемых рудах в целом по месторождению составляло 0,6–0,8%, но добывались руды, в которых содер-

жание ртути достигало 6–7%. Главная рудная зона прослеживается по простиранию на 1400 м при глубине оруденения до 350 м.

В Югославии расположено также одно из крупнейших в Европе месторождений сурьмы *Костайник-Крупани.* Оруденение приурочено к известнякам и сланцам триаса, а также к прорывающим их пластовым и секущим жилам и штокам трахита и андезита третичного возраста. Кварц-антимонитовые руды в трахите встречаются в форме прожилков и гнезд, в сланцах – в виде сложных жил, а на контакте сланцев и известняков образуют метасоматические залежи, которые имеют наибольшее практическое значение. Рудная зона прослеживается на протяжении 16 км при ширине 1,5–2 км. Кроме кварца, антимонита и продуктов его окисления руды содержат в значительных количествах серу. Оруденение отличается большой неравномерностью. В отдельных залежах содержание сурьмы достигает 20–25%, но в среднем в добываемых рудах оно составляет 2%.

Многочисленные месторождения ртути и сурьмы сосредоточены в третичных складчатых областях Западного полушария, в пределах Тихоокеанского рудного пояса.

Около 500 месторождений ртути известно в С Ш А, преимущественно в западных штатах – Калифорнии (более 100 месторождений), Неваде (более 60), Орегоне (более 30). Большинство месторождений отличается мелкими масштабами. В периоды повышенного спроса и возрастания цен на ртуть разрабатывается до 200 месторождений, при понижении спроса количество действующих рудников уменьшается до 3–4. От условий рынка и цен в значительной мере зависит и учет запасов ртути, который поэтому носит условный характер.

Почти все месторождения приурочены к мезозойским осадочным отложениям. Оруденение контролируется тектоническими нарушениями и малопроницаемыми надрудными слоями глин и сланцев. Наиболее крупные месторождения *Нью-Альмаден* (рис. 116) и *Нью-Идрия* расположены в штате Калифорния, где большинство месторождений располагается в зонах дробления осадочных пород юры, вдоль их контактов с ультраосновными серпентинизированными интрузиями, в пространственной связи с дайками риолитов и других изверженных пород. Для некоторых месторождений рудоконтролирующую роль играют покровы третичных и четвертичных лавовых потоков.

Месторождение Нью-Альмаден приурочено к контакту серпентинизированных перидотитов с интенсивно дислоцированными юрскими песчаниками, включающими небольшие линзы известняков и глаукофановых сланцев. Рудные залежи представляют собой брекчию этих пород, сцементированную кварцем, кальцитом и доломитом, реже халцедоном, опалом и битумами. В висячем боку рудных залежей, особенно пологопадающих, часто развита тектоническая глина, вблизи которой, как правило, руды отличаются наиболее высоким содержанием киновари, иногда превышающим 10%. Кроме киновари, из рудных минералов встречаются пирит, реже марказит. Среднее содержание ртути в добытых рудах составляло около 1%.

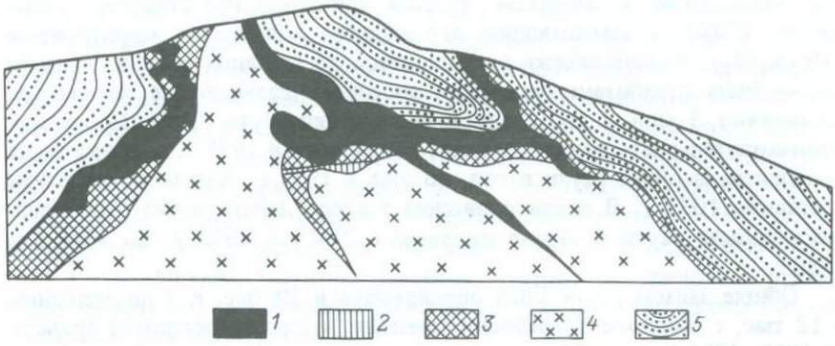


Рис. 116. Схематический разрез месторождения Нью-Альмаден *(по С. Тютту)* **:**
1 – ртутная руда; *2* – глинка трения; *3* – брекчия; *4* – серпентиниты; *5* – песчаники и сланцы

Месторождение Нью-Альмаден разрабатывалось с 1824 г. По количеству добытого металла (с 1845 по 1926 г. – 34,5 тыс. т ртути) оно уступало только месторождениям Альмаден в Испании, Идрия в Югославии и Хуанкавелика в Перу. В 1926 г. добыча была прекращена из-за истощения запасов. Разработки достигали глубины 820 м, где оказались только бедные руды.

Месторождение *Нью-Идрия,* эксплуатировавшееся с 1845 г., считалось выработанным, но в 1941 г. было обнаружено новое рудное тело, возможные запасы которого оценивались в 690–1200 т ртути.

Кроме того, в Калифорнии известно много небольших и ряд средних месторождений ртути. В годы второй мировой войны месторождения штата Калифорния подверглись усиленной эксплуатации, и в 1943 г. добыча ртути здесь достигла 1165 т. В последнее время эти месторождения обеспечивают не более 10% общей добычи ртути в стране.

В штатах Орегон и Невада наряду с многочисленными жильными месторождениями, приуроченными к третичным вулканогенным и осадочным образованиям, развиты также месторождения так называемого опалитового типа, представленные силицифицированными туфогенными и осадочными породами. Силицификация пород предшествовала ртутной минерализации, и киноварь развивается в брекчиях и трещинах опалитизированных пород. Самым крупным месторождением этого типа является *Опалит.* Оно представлено залежью оруденелых опалитизированных третичных туфов, в которых киноварь и терлингуаит образуют неравномерную вкрапленность. Опалитовые руды отличаются низким содержанием ртути, и, несмотря на крупные размеры, практическое значение их сравнительно невелико.

Условно к этому типу можно отнести открытое рядом с выработанным месторождением Кордеро крупное месторождение Мак-Дермитт в штате Невада. Промышленное оруденение проявлено в миоценовых рыхловатых озерных образованиях, сложенных туфами, пепла-

ми, халцедоном и опалитом. Рудные минералы представлены киноварью (70%) и замещающим его редким минералом кордероитом ($Hg_3S_3Cl_2$). Рудная залежь располагается до глубины 60 м и целиком может быть отработана открытым способом. Разведанные запасы руд составляют 3 млн. т при среднем содержании ртути 0,45%. Проектная производительность первой очереди созданного в 1975 г. рудника была определена в 690 т ртути в год, но уже в 1979 г. производство ртути составило 1035 т. В связи с вводом в строй действующих этого рудника добыча ртути в стране возросла с 254 т в 1975 г. до 1048 т в 1980 г.

Общие запасы ртути США оцениваются в 20 тыс. т, а достоверные в 12 тыс. т. Годовое потребление металла в стране составляет примерно 1800–1900 т.

В США производство сурьмы в концентрате в 1980 г. составило 310 т, причем преобладающая часть ее получается в качестве побочного продукта при переработке полиметаллических и золотых руд. Месторождения собственно сурьмяных руд, часто ассоциирующие с ртутными месторождениями (например, в западных штатах), отличаются мелкими размерами и не представляют большого практического интереса.

Самый крупный источник сурьмы в стране – золото-сурьмяные месторождения штата Айдахо, приуроченные к зонам нарушения в крупном батолите гранитоидов и генетически связанные с третичными интрузиями кварц-монцонитов. Главная жила наиболее крупного месторождения Бэббит прослеживается на протяжении 1200 м при мощности от нескольких десятков сантиметров до 6 м. Отдельные участки ее мощностью от 0,3 до 1 м почти нацело сложены антимонитом. Месторождение *Йеллоу-Пайн* представляет собой монцонитовую интрузию, в верхней приконтактовой части которой интенсивно проявилась минерализация в форме вкрапленности шеелита и густой сети кварцевых прожилков с золотом, пиритом, арсенопиритом и антимонитом. В зависимости от распределения рудных минералов выделяются золотые, сурьмяно-золотые и вольфрамо-сурьмяно-золотые разности руд. Общие запасы сурьмы в этом районе оцениваются в 63 тыс. т при содержании металла в руде 0,2–0,52%. По разрабатываемым месторождениям среднее содержание сурьмы достигает 1,85%, золота 2–3 г/т. Из руды извлекаются также серебро и вольфрам. В сравнительно небольшом объеме металл добывается на собственно сурьмяных месторождениях штата Монтана. Достоверные запасы сурьмы в стране составляют 130 тыс. т.

Потребность США в сурьме в значительной мере покрывается импортом, главным образом из Боливии и Мексики, обладающих крупными запасами сурьмы.

В Мексике известно около 60 месторождений, бóльшая часть которых представлена чисто сурьмяными рудами. Форма рудных залежей разнообразна. Широко развиты пласто- и гнездообразные залежи типа замещения в карбонатных породах. В сланцах и песчаниках преобладают

вкрапленные штокверковые руды. Жилы чаще всего приурочены к сбросовым трещинам, служившим, вероятно, рудопроводящими каналами. Метасоматические залежи в карбонатных породах часто располагаются в сводах антиклинальных складок. Разрабатываются преимущественно окисленные руды, содержащие кераргирит, сенармонтит, валентинит, сервантит, кермезит, стибиконит и ливингстонит. Преобладают руды со средним содержанием сурьмы около 5%. После ручной сортировки получается продукт со средним содержанием металла 45–46%. Добыча сурьмы производится в штатах Сан-Луис-Потоси, Керетаро и Сонора.

С сурьмяными месторождениями нередко ассоциируют ртутные месторождения; в различных районах страны известно около 200 мелких месторождений ртути.

В штате Герреро расположено единственное в мире месторождение ливингстонитовых руд *Уитцуко*. Месторождение сложено интенсивно дислоцированными брекчированными тонкослоистыми известняками, нарушенными многочисленными сбросами и прорванными интрузией биотитовых гранитов. Брекчированные известняки вначале подверглись доломитизации, а затем в результате воздействия сернокислых растворов были замещены ангидритом, превращенным в гипс. Залежи гипса сильно закарстованы, карстовые полости и карманы заполнены глинистой брекчией. Основной рудный минерал – ливингстонит (комплексный сульфид ртути и сурьмы). Руды содержат также киноварь, метациннабарит, антимонит и пирит. В верхних выработанных горизонтах месторождения содержание ртути в руде достигало 3–4% и сурьмы 16–17%. В настоящее время добывается руда с содержанием 0,3% ртути и 1,25% сурьмы.

Месторождения ртути типа замещения в карбонатных породах, ассоциирующие с метасоматическими залежами гипса, известны также в других районах Мексики, но более широко распространены месторождения, приуроченные к третичным риолитам, где киноварь образует небольшие гнезда, вкрапленность и маломощные жилы.

Общие запасы ртути в Мексике оцениваются в 16 тыс. т (доказанные 8,6 тыс. т), сурьмы – в 350 тыс. т (260 тыс. т). Добыча сурьмы в 1980 г. составила 2,2 тыс. т, ртути – 172 т при содержании в рудах этих металлов соответственно 2–10 и 0,5%.

Первое место по запасам и добыче сурьмы среди капиталистических и развивающихся стран принадлежат Боливии. Месторождения ее расположены в департаментах Потоси и Оруро, в пределах Боливийского оловянного пояса, который простирается с севера, от Перу, на юг, в Аргентину.

Месторождения Боливии характеризуются небольшими размерами, но отличаются высоким качеством руд. Они залегают преимущественно среди палеозойских сланцев и представлены кварц-антимонитовыми жилами неправильной четкообразной формы мощностью от нескольких десятков сантиметров до 8 м (в раздувах). Кроме антимонита, они нередко содержат золото – до 8 г/т, пирит, часто коллоидальный, иногда ферберит, джемсонит, блеклые руды, вольфсбергит и кино-

варь. Во многих жилах вместо кварца развит халцедон, встречаются кальцит, анкерит, каолин.

Преобладают небольшие месторождения, разрабатываемые мелкими рудниками, вследствие чего добыча сурьмы резко колеблется в зависимости от спроса и цен на нее на мировом рынке. Количество разрабатываемых месторождений достигало 150. Добываемая руда содержит около 10% сурьмы; после обогащения на рудниках получается концентрат с содержанием сурьмы 60%. До второй мировой войны в связи с трудными условиями эксплуатации и транспортировки (месторождения расположены в Андах, на высотах 3500–4000 м) добывались только богатые руды с содержанием металла не ниже 20%, поэтому и в отвалах накопились большие запасы сурьмяных руд с содержанием металла от 5 до 10%.

Доказанные запасы сурьмы в Боливии составляют 400 тыс. т; производство сурьмы в концентратах в 1980 г. составило 15,5 тыс. т.

Многочисленные, но преимущественно мелкие месторождения сурьмы известны в П е р у, на северном продолжении Боливийского пояса. Разрабатывались главным образом месторождения, расположенные в департаментах Пуно и Уануко. Достоверные запасы сурьмы оцениваются в 65 тыс. т; производство ее в 1980 г. достигло 770 т, в основном за счет попутного извлечения из полиметаллических руд.

В прошлом большое практическое значение имело месторождение ртути *Хуанкавелика,* разрабатывавшееся с 1566 г. и давшее до 1908 г. более 50 тыс. т ртути. Месторождение расположено на крыле крупной антиклинальной складки, нарушенной сбросом и прорванной третичными дайками андезитов, базальтов и порфиритов. Ртутное оруденение приурочено к известнякам и к согласно налегающим на них песчаникам мелового возраста. Последние перекрыты тонкослоистыми сланцами, которые, по мнению исследователей месторождения, служили экраном для рудоносных растворов. Наиболее интенсивно оруденение проявлено в сильно дробленых и трещиноватых песчаниках, залегающих под покровом сланцев, и представлено импрeньяцией и выполнениями мелких трещинок, образующими в совокупности пластообразные рудные залежи. В известняках преобладают линзообразные и гнездообразные залежи замещения, часто приуроченные к карстовым пустотам. Оруденение проявилось также в известняковых конгломератах, залегающих над сланцами. В них киноварь находится в виде вкрапленности и прожилков в цементе.

В рудах присутствуют пирит, арсенопирит, реальгар, кальцит, кварц, барит и битумы. Содержание ртути в первый период эксплуатации достигало 5–10%, позднее оно резко снизилось, и эксплуатация месторождения была прекращена. Оставшиеся запасы месторождения исчисляются в 900 тыс. т руды со средним содержанием ртути 0,12–0,38%.

Кроме Хуанкавелики в Перу имеется большое число плохо изученных ртутных месторождений; часть из них эпизодически разрабатывалась.

К кайнозойской эпохе рудообразования относятся мелкие месторождения ртути и сурьмы в ряде стран Азии.

Наиболее изучены из них издавна разрабатываемые месторождения Я п о н и и, расположенные преимущественно в районах современной вулканической деятельности. Суммарные запасы трех разведанных месторождений оценивались в 1700 тыс. т руды с содержанием 0,43% ртути. Добыча ртути в Японии прекратилась в 1975 г.

В Т у р ц и и основные месторождения расположены в Сивасском районе и в Западной Анатолии, где они представлены кварцево-антимонитовыми жилами, залегающими среди кристаллических сланцев и кварцитов, иногда на контакте их с диабазовыми туфами. Месторождения характеризуются небольшими масштабами, но часто отличаются высоким содержанием сурьмы – до 10–14%. Наиболее крупное месторождение *Эздемир* представлено кварцевыми жилами длиной 150–400 м и мощностью от нескольких сантиметров до 8 м. Основной рудный минерал – стибнит. Достоверные запасы сурьмы достигают 66 тыс. т, добыто ее в 1980 г. 0,97 тыс. т.

В 1955–1976 гг. разрабатывались месторождения ртути на Ф и л и п п и н а х. Месторождения отличаются небольшими масштабами. Среднее содержание ртути в разрабатываемых рудах составляло 0,6–0,75%. Максимальное производство ртути в стране 115 т достигнуто в 1972 г.

К кайнозою относят сурьмяные и более редко встречающиеся ртутные месторождения Северной Африки, где они образуют пояс, пересекающий территорию Туниса, Алжира и Марокко. Большая часть их представлена жилами и метасоматическими залежами в меловых известняках, реже в известняках карбона и верхнего девона. Широко развиты зоны окисления, руды которых представлены сервантитом, сенармонтитом и валентинитом.

В М а р о к к о достоверные запасы сурьмы достигают 65 тыс. т, а в Алжире – 60 тыс. т. Производство сурьмы в концентрате в этих странах в 1980 г. соответственно составило 550 и 60 т.

Основные месторождения ртути А л ж и р а приурочены к протяженному разлому, проходящему вдоль склона Нумидийского хребта. Оруденение локализовано в интенсивно тектонически нарушенных зонах среди эоценовых песчаников, мергелей, известняков и известняковых конгломератов. На месторождении *Рас-эль-Ма* пластовая залежь мощностью 6,4 м развита на площади до 500 м^2. Основные рудные минералы – киноварь и метациннабарит. Среднее содержание ртути около 0,8%, в наиболее обогащенных участках – до 1,63%. На месторождении *Мра-Сма* оруденение представлено пологопадающими столбами вкрапленных руд в зоне дробления и жилообразными залежами барит-кальцитового состава. Руды содержат киноварь, галенит, церуссит и смитсонит, и среди них соответственно выделяются ртутные и ртутно-полиметаллические разности. Содержание ртути во вкрапленных рудах колеблется от 0,05 до 1,0%, в жильных – от 1 до 20%. Эксплуатация месторождений начата в 1971 г., и в настоящее время добыча ртu-

ти превышает 1 тыс. т в год. Достоверные ее запасы определены в 12 тыс. т.

В СССР в районах проявления молодого вулканизма на Камчатке, Чукотке и в Закарпатье ртутная минерализация опалитового типа локализуется в экзоконтактовых зонах вулканических некков и куполов или в местах выходов кислых эффузивов.

Мало интересно в практическом отношении большинство известных в ряде стран месторождений ртути, формирование которых связано с современными термальными водами. Единственное промышленное месторождение этого типа – *Салфер-Бэнк* в Калифорнии. Первоначально (с 1865 по 1868 г.) здесь добывалась самородная сера, а позднее – с 1873 г. – началась добыча ртути, осажденной термальными водами в форме жил и скоплений мелкой густой вкрапленности киновари в андезитах и озерных отложениях. С киноварью ассоциируют метакиноварь, стибнит, марказит, пирит, цеолит, монтмориллонит, самородная сера, доломит, кальцит и изредка опал.

На месторождении до 1957 г. добыто 4465 т ртути, а оставшиеся запасы ее оценивались в 2500 т.

Ртутная минерализация, связанная с деятельностью горячих источников и продолжающаяся до настоящего времени, установлена в различных районах Океании. Наиболее крупные из них (месторождения *Пуипун*) расположены в Новой Зеландии и представлены импрeньированными киноварью терригенными верхнетретичными отложениями, перекрытыми базальтовыми покровами, а также проявлениями киновари в песках и карбонатном иле древних озер. Добыча ртути осуществляется в ограниченных размерах.

Редко встречаются делювиальные и аллювиальные россыпи киновари. Запасы ртути в них измеряются десятками и реже первыми сотнями тонн.

БЕРИЛЛИЙ, ЛИТИЙ, ТАНТАЛ, НИОБИЙ

Редкометалльные пегматиты кайнозойского возраста известны только в двух районах – в Японии и Италии (на о-ве Эльба), но практического значения они не имеют.

В США с проявлениями третичного магматизма связано контактово-метасоматическое месторождение *бериллия Железная Гора* (штат Нью-Мексико). Рудные залежи, приуроченные к контакту известняков с риолитами, аплитами и гранитами, представлены полосчатыми скарнами магнетит-флюоритового состава. Руды содержат в заметных количествах гельвин и даналит; кроме того, бериллий присутствует в качестве примеси в везувиане, гроссуляре и хлорите. Запасы BeO в рудах с содержанием 0,1% и выше оцениваются в 300 т. Технология извлечения бериллия из этих руд, по-видимому, не разработана, и месторождение не эксплуатируется.

В последнее время промышленные месторождения бериллия, в которых основными рудными минералами являются бертрандит, фе-

накит и эвклаз, открыты во многих районах США. Наиболее крупное из них *Томас-Рейндж* расположено в штате Юта и представлено миоценовыми флюоритизированными туфами риолитов, в которых бертрандит вместе с флюоритом, урановыми минералами, опалом, кальцитом и монтмориллонитом образует густую мелкую вкрапленность и отдельные конкреции. Минерализация установлена на обширной площади. Абсолютный возраст ее определен в 20–25 млн. лет. Запасы разведанных руд одного только участка Топаз Маунтин составляют 3 млн. т при среднем содержании в них BeO 0,75%. Разработка участка началась в 1961 г.

На базе месторождения Томас-Рейндж создан крупнейший за рубежом рудник, позволяющий обеспечить до 70–80% суммарного производства бериллиевых концентратов в капиталистических и развивающихся странах.

К кайнозою, по-видимому, относится и месторождение *Агуачила* в Мексике в штате Коауила, приуроченное к куполообразной антиклинальной структуре, края которой окаймлены дайкой риолитовых порфиров. Ее внедрение сопровождалось брекчированием вмещающих известняков, в которых проявлено бериллиевое оруденение. Единственным рудным минералом является бертрандит, заключенный во флюорите, который входит в состав цемента брекчированных известняков. Среднее содержание BeO в породе составляет 0,3%.

К кайнозою относится бóльшая часть (более 50%) прогнозных ресурсов лития капиталистических и развивающихся стран, сосредоточенных в основном в высокоминерализованных водах – рассолах Мертвого моря, озер США и саларах Чили, которые обеспечивают значительную часть добычи этого металла.

Около 25% общего количества карбоната лития, производимого в США, получается из рассолов подземного озера *Силвер-Пик* в Неваде. Доказанные извлекаемые запасы лития в рассолах этого озера оцениваются в 40 тыс. т (и, кроме того, возможные – 80 тыс. т) при среднем содержании его в рапе 0,03%. Это очень высокое содержание значительно повышается путем поэтапного солнечного выпаривания рассолов в искусственных бассейнах.

Сырой карбонат лития извлекается из рапы оз. *Сёрлс* в Калифорнии, где одновременно извлекаются соли натрия, калия, борная и фосфорная кислоты, бура и бром. Запасы лития озера оцениваются в 25 тыс. т при среднем его содержании 0,005%.

Значительным источником добычи лития может стать оз. Солтон-Си, расположенное в Калифорнии. Среднее содержание лития в его рапе составляет 0,02%; прогнозные запасы металла – 1000 т.

В 1978 г. из 8118 т лития, добытых из различных видов сырья в капиталистических и развивающихся странах, доля США составила 65,2% (5286 т, из них половина извлечена из рассолов).

Крупные месторождения лития выявлены в связи с саларами Чили в Атакаме. Общие запасы лития в них оценены в 1300 тыс. т при среднем его содержании 0,135%. На их базе уже организовано крупное произ-

водство литиевой продукции (1023 т лития в 1978 г.) с попутным извлечением магния, калия и кальция.

Получены достаточно обоснованные данные о перспективах выявления аналогичных месторождений в других странах Южной Америки. Так, в Боливии в пределах плато Альтиплано содержание лития в саларах достигает 0,3–0,4%; промышленные концентрации его установлены и в Аргентине.

Месторождения редкометалльных карбонатитов третичного возраста, содержащих *тантал и ниобий*, известны в Кении, Уганде и ФРГ.

Третичные карбонатиты Кении и Уганды по геологическому строению и характеру минерализации весьма сходны с мезозойскими карбонатитами Уганды и других стран Южной Африки. Наиболее изученное месторождение находится в Кении, в горах Мрима. Карбонатиты отличаются сравнительно высоким содержанием Nb_2O_5 (в среднем 0,71%). Запасы руд оцениваются в 49 млн. т, из них 4,5 млн. т при среднем содержании 1,25% Nb_2O_5.

Месторождение карбонатитов *Кайзерштуль*, расположенное в ФРГ, не отличается крупными размерами. Руды, сложенные кальцитом с переменным количеством апатита, содержат пирохлор, ниобиевый перовскит и коппит. Содержание Nb_2O_5 в добываемых рудах колеблется от 0,2 до 0,5%.

Значительными источниками тантала и ниобия являются разнообразные россыпи. В прошлом первое место по добыче ниобия и тантала среди капиталистических стран принадлежало Нигерии, где минералы этих редких металлов (колумбит и танталит) извлекаются попутно с касситеритом преимущественно из аллювиальных оловоносных россыпей и коры выветривания гранитов. Производство ниобиевых концентратов достигло в 1955 г. 3211 т, танталовых – 10– 15 т. В 1959 г. было получено 1588 т ниобий-танталовых концентратов.

Крупными ресурсами ниобия и тантала располагает Заир; значительная часть их заключена в россыпных месторождениях олова, при разработке которых попутно извлекаются колумбит и танталит. Площадь распространения этих россыпей превышает 1000 км^2.

В Азии россыпные месторождения тантала и ниобия известны в Малайзии и Таиланде, где источниками этих минералов также являются оловоносные россыпи.

ЗОЛОТО

Золотоносные россыпи третичного и четвертичного возраста исключительно широко распространены и, как правило, сопутствуют коренным месторождениям золота всех эпох рудообразования. Они обычно более рентабельны для разработки, чем коренные месторождения, требуют меньших капитальных затрат на освоение и поэтому в большинстве стран являются первоочередными объектами эксплуатации. Интенсивная разработка золотоносных россыпей привела к зна-

чительному истощению их запасов во многих в прошлом весьма крупных центрах золотодобычи. Суммарные запасы золота в россыпях капиталистических и развивающихся стран оцениваются в 500–600 т при среднем содержании его 0,2–0,5 г/т. Годовая добыча золота из россыпей в последнее время не превышает 15–16 т.

Наибольшую промышленную ценность представляют аллювиальные россыпи, в том числе современные русловые, долинные и террасовые, а также древние погребенные. В Австралии, например, крупными источниками золота служили третичные россыпи, погребенные под покровами базальтовых лав. Россыпи эксплуатировались при содержании золота, достигающем нескольких граммов на кубический метр песков. В разрабатываемых дражным способом россыпях США минимально допускаемое содержание золота равно 100 мг/м^3.

Россыпные месторождения золота, особенно аллювиально-русловые и пойменные, а также россыпи террас молодой и древней гидрографической сети находятся в СССР. Мощность рыхлых отложений в них колеблется в широких пределах.

К ним относятся золотоносные россыпи бассейнов рек Енисея, Лены, Бодайбо, Витима, Алдана, Колымы, Яны и Индигирки, а также россыпи, погребенные под ледниковыми отложениями, развитые в Ленском и Джугджурском районах.

В капиталистических и развивающихся странах все большее экономическое значение приобретают кайнозойские коренные месторождения золота весьма разнообразных промышленно генетических типов.

К кайнозойской эпохе рудообразования относятся также коренные месторождения золота, разрабатываемые в ряде стран. Среди них выделяются многочисленные месторождения Америки, приуроченные к третичному вулканическому поясу, который протягивается от Аризоны через Неваду и Южную Калифорнию до Центральной Мексики и Никарагуа. В этой обширной области, помимо многочисленных, преимущественно мелких собственно золотых месторождений, золото постоянно создает существенную примесь в рудах полиметаллических месторождений. Наиболее часто золото ассоциирует с серебром и в зависимости от соотношения этих металлов наблюдается ряд переходов от существенно золотых руд к чисто серебряным.

В пределах США огромное количество этих месторождений сосредоточено в золоторудной провинции Невады, охватывающей штат Невада и примыкающие районы штатов Аризона, Калифорния, Юта и Айдахо. Месторождения этой провинции весьма сходны между собой, залегают среди третичных вулканогенных образований и генетически связываются с малыми интрузиями дацитового состава от верхнемиоценового до плиоценового возраста. Рудные тела в форме небольших столбов, жил и жилообразных залежей приурочены к зонам повышенной трещиноватости, окварцевания, нередко каолинизации и алунитизации и характеризуются разнообразным минеральным составом. Кроме кварца, алунита и каолинита, они содержат золото, ар-

гентит, пирит, марказит, вюртцит, сфалерит, висмутин, фаматинит, теннантит и теллуриды – петцит, гессит, сильванит и гольдфильдит.

Масштабы месторождений невелики, но руды часто отличаются высоким содержанием золота.

В прошлом большое значение имело знаменитое месторождение *Комсток Лод,* из чрезвычайно богатых руд которого за время эксплуатации было извлечено 264 т золота и 3110 т серебра. В золотоносном районе Голдфилд, в котором уже добыто свыше 100 т золота, содержание его в рудах достигало нескольких сотен граммов на тонну. Богатые руды в большей своей части выработаны, и в настоящее время этот район занимает скромное место среди других золотоносных районов США. Глубина разработок здесь превышает 900 м.

К кайнозою относится ряд открытых в последние годы в пределах западных штатов США месторождений нового типа, представленного алевролито-карбонатными породами, содержащими тонковкрапленное золото. Оруденение приурочено к зонам интенсивного окварцевания, в которых отмечается наличие органических веществ и повышенных концентраций мышьяка, сурьмы, ртути и таллия.

Среди них по масштабу оруденения выделяется месторождение *Карлин* в штате Невада, на базе которого в 1965 г. создан рудник производительностью 6,2 т золота в год. Рудная зона месторождения прослежена по простиранию на 2300 м при мощности от 7,5 до 30 м. Рудой является мелкозернистый известковый алевролит с тонким золотом – до 0,0005 мм. Разведанные запасы руд, пригодных для открытой добычи, составляют 10 млн. т при среднем содержании золота 11 г/т. В 1979 г. добыто 729 тыс. т руды, содержащей 9,9 г/т золота, и извлечено 7,22 т металла.

В восточных районах Невады имеется много других месторождений эпитермальных золото-серебряных руд. Среди них выделяются месторождения миоценового возраста (*Тонопа, Виргиния-Сити* и *Орора*), в рудах которых серебро заметно преобладает над золотом, и плиоценовые месторождения (*Дивайд, Раунд-Маунтин* и *Манхаттан*), в которых золото преобладает над серебром.

Много золоторудных месторождений третичного возраста разрабатывается в области Скалистых гор, особенно на территории штата Колорадо. Здесь по масштабам минерализации выделяется район *Крипл-Крик,* сложенный докембрийскими кристаллическими сланцами, гнейсами и гранитами, среди которых расположена крупная воронка вулкана, выполненная третичными базальтами и осадочными отложениями предположительно миоценового возраста. Вблизи поверхности вулкан достигает 4,8 км в поперечнике; в центральной его части выделяется брекчиевая трубка взрыва *Крессон* диаметром 210 м и глубиной 600 м, которая отличается особенно богатыми рудами. Рудные тела представлены трещинными жилами и пластообразными зонами оруденения брекчий. Нередко они встречаются и по периферии вулкана, среди вмещающих его докембрийских пород. Руды представлены разнообразными теллуридами и флюоритом при незначительном количестве

самородного золота. Среди теллуридов преобладает калаверит (Au, Ag) Te_2, постоянно присутствуют также сильванит, креннерит, петцит, гессит и теллурид серебра и меди.

С третичным магматизмом связана золотоносность ряда других районов, в частности Аляски, где разрабатываются несколько сравнительно небольших месторождений коренных и россыпных месторождений. Запасы золота наиболее крупного месторождения Ном на начало 1977 г. оценивались в 36,2 т при среднем его содержании в гравии 0,38 г/т.

В США большое количество золота извлекается из комплексных руд цветных металлов. Среди них сравнительно крупным источником золота является меднопорфировое месторождение Бингем палеогенового возраста. Содержание золота в добываемых рудах снизилось с 0,359 г/т в 1971 г. до 0,216 г/т в 1979 г., и соответственно годовое производство его сократилось с 11,4 до 5,8 т.

Остается открытым вопрос о возрасте крупнейшего месторождения золота Хомстэйк, расположенного в штате Южная Дакота. В соответствии с предположением многих исследователей нами это месторождение отнесено к докембрию, хотя существует мнение о третичном возрасте оруденения. В пользу этого свидетельствует широко проявленная в районе третичная магматическая деятельность и связанные с ней многочисленные мелкие проявления золотой минерализации. В 1980 г. в США добыто 27,6 т золота.

На южном продолжении золотоносной области США расположены многочисленные золоторудные месторождения Мексики, для которых также характерны постоянная ассоциация золота и серебра и частая приуроченность оруденения к вулканогенным образованиям. Главными источниками золота являются месторождения серебряных руд; небольшая часть его извлекается из медных и полиметаллических руд; разрабатываются также месторождения, в рудах которых золото является основным полезным компонентом.

Среди собственно золоторудных месторождений по масштабу минерализации выделяется месторождение Эль-Оро, на котором добыто около 150 т золота. Месторождение почти целиком выработано, и эксплуатация его прекращена. Рудные тела месторождения представляли собой жилообразные залежи, приуроченные к третичным андезитам и мезозойским сланцам и песчаникам. Наиболее крупная залежь прослежена в длину на 2,4 км при мощности от 18 до 30 м. В отработанных рудах содержание золота колебалось от 7 до 23 г/т, а в некоторых апофизах жил достигало 40 г/т. Содержание серебра в них составляло 60–90 г/т.

Сведения о запасах золота Мексики не публикуются. Годовая добыча его за последнее время находилась на уровне 6 т.

Месторождения золотых и золото-серебряных руд, связанных с вулканической деятельностью третичного периода, в сравнительно небольших объемах разрабатываются в Гондурасе, Коста-Рике, Сальвадоре и на Кубе. В Гондурасе разрабатывается 10 место-

рождений, общие запасы руд в которых оцениваются в 3 млн. т. Руды содержат золото, серебро, олово, цинк, мышьяк и висмут. Среднее содержание золота 0,3–1 г/т. Годовая добыча золота составляет около 80 кг и серебра 90 т.

Многочисленные сравнительно небольшие месторождения золота третичного возраста известны в ряде стран Южной и Центральной Америки, среди которых видное место по запасам и добыче в последнее время заняла Доминиканская Республика за счет разведки и промышленного освоения месторождения *Пуэбло-Вьехо*. Оруденение его локализовано в тонкослоистых черных углистых сланцах, но встречаются крупнозернистые разности и залегающие между ними прослои туфов. Выделяются три рудные зоны, представленные жилами и пропластками сульфидов. Вкрапленность золота ассоциируется с пиритом, обнаружены серебро и самородная ртуть.

Достоверные запасы окисленных руд месторождения оцениваются в 30 млн. т при среднем содержании золота 3,7 г/т, серебра – 22,7 г/т и извлечении 92 и 72% соответственно.

Считают, что при поверхностном окислении первичных руд происходило выщелачивание сульфидов, переотложение меди и цинка и сохранение золота и серебра. Возможно, что наличие углерода в отложениях играло важную роль в локализации золота.

На базе месторождения с октября 1975 г. действует горно-обогатительное предприятие, на котором в 1977 г. открытым способом добыто 2,636 млн. т руды, содержащей в среднем 4,11 г/т золота, и извлечено 10,84 т золота и 42 т серебра.

Суточная добыча составляет 6,5 тыс. т пустой породы и низкосортной руды, которая складируется.

В Колумбии годовая добыча золота находилась на уровне 9–10 т (в 1980 г. – 16 т), из них около 4 т извлекается из коренных месторождений, приуроченных к третичным андезитам и осадочным породам, а также к докембрийским кристаллическим сланцам и филлитам. Оруденение здесь проявлено в форме зон вкрапленности и трещинных жил. В последних, кроме золота (от 8 до 30 г/т), постоянно присутствует в переменных количествах серебро.

Сходные по геологическому строению месторождения известны в Аргентине, Перу и Боливии.

В Чили с 1979 г. разрабатывается месторождение *Эль-Индио*, разведанные запасы руд которого составляют 3,1 млн. т при среднем содержании золота 12,44 г/т, серебра 140 г/т и меди 3,5%. В 1981 г. добыто более 6,5 т золота.

С проявлениями кайнозойского вулканизма связана золотоносность некоторых районов Восточной Азии.

На Филиппинских островах месторождения плейстоценового возраста представлены преимущественно кварц-кальцитовыми жилами, в которых наряду с самородным золотом широко развиты сульфиды меди, свинца и цинка. Разрабатывался ряд небольших месторождений с запасами руд от нескольких десятков тысяч тонн

до 1,5 млн. т; содержание золота в них колеблется от 5,9 до 13 г/т. В последнее время важными источниками добычи золота в стране (до 50%) оказались меднопорфировые руды, разработка которых позволила производить около 10 т металла в год при содержании его в руде примерно 0,2 г/т. В 1980 г. добыча золота в стране составила 22 т.

Широко распространены месторождения золото-серебряных руд, связанных с третичными андезитами, в Индонезии. Руды представлены трещинными жилами, в которых отношение золота к серебру колеблется от 1:13 до 1:90. В рудах присутствуют также селен и теллур.

В третичное время сформировалась подавляющая часть месторождений Японии, в которых наряду с золотом постоянно содержится в промышленных концентрациях серебро. Оруденение проявлено как в форме трещинных жил, так и в форме жил замещения и штокверковых зон. Обычно руды приурочены к третичным осадочным эффузивным породам, но встречаются и в более древних образованиях. Месторождения характеризуются мелкими масштабами. Среднее содержание золота в разрабатываемых рудах колеблется от 5 до 9 г/т. Встречаются жилы с содержанием золота до 24 г/т и серебра до 340 г/т. В последнее время годовая добыча золота в Японии составляла около 4 т. Значительное количество золота извлекается также попутно, при переработке медноколчеданных и отчасти полиметаллических руд третичного, преимущественно неогенового возраста.

Крупным производителем золота становится Папуа-Новая Гвинея в связи с открытием, разведкой и промышленным освоением миоценовых месторождений меднопорфировых руд с повышенным содержанием этого металла. Производство его за счет попутного извлечения из руд месторождения *Пангуна* в 1978 г. достигло 23,64 т при среднем содержании в добываемых рудах 0,656 г/т. Продолжается разведка других крупных месторождений (*Октеди, Яндера, Фрида*).

К кайнозою относится жильное месторождение *Эмперор,* расположенное в Фиджи. Годовая добыча превышает 2 т золота, среднее содержание которого в руде составляет 6–9 г/т.

В СССР в ряде районов тихоокеанского побережья известны проявления эпитермальной золотой и золото-серебряной минерализации. В одних местах они связаны с некками неогеновых андезитов и порфиров (трахитов), подвергшихся гидротермальным изменениям и превращенных в алунитовые и диккит-алунитовые породы, в других — с близповерхностными малыми интрузиями щелочного или субщелочного состава также, по-видимому, неогенового возраста. Вероятно, с послесреднезоценовыми малыми интрузиями кварцевых диоритов связано золотое оруденение Закавказья.

В пределах Европы промышленная золотоносность, обусловленная третичным вулканизмом, известна в Румынии, Чехословакии и Югославии. Здесь устанавливается весьма отчетливая связь золотого оруденения с сохранившимися жерлами вулканов, инт-

рузивных некков и штокверков, представленных риолитами, дацитами, андезитами, базальтами, их туфами и туфобрекчиями. Форма рудных залежей весьма разнообразна. Наиболее широко развиты трещинные жилы, встречаются также трубчатые тела, зоны замещения и штокверки. Кроме кварца и самородного золота, руды часто содержат кальцит, барит, цеолиты, богатые серебром сульфосоли, пирит, галенит и сфалерит.

ПЛАТИНОИДЫ

К кайнозою относятся в основном россыпные месторождения металлов платиновой группы. Наиболее широко они распространены в Колумбии – на побережье Тихого океана и на западных склонах Кордильер. Содержание платиноидов в богатых участках россыпей достигает 15 г/м^3, а в дражных песках не превышает 0,1 г/м^3. Среди металлов этой группы преобладает платина, количество которой достигает 95% общих запасов, оцениваемых в 30 т. Добыча платины в 1976 г. достигла 809 кг и снизилась к 1980 г. до 290 кг.

В Эфиопии известны небольшие золото-платиновые элювиальные россыпи, связанные с бирбиритами (латеритные образования на поверхности дунитов), в которых содержание платиноидов составляет от 0,68 до 2,17 г/т. Годовая добыча не превышает 5 кг преимущественно платины.

Небольшие промышленные платиноносные россыпи известны в Канаде, США (на Аляске, а также совместно с золотом в Калифорнии и Орегоне), в ЮАР (Витватерсранд), Японии и Австралии. Запасы платиноидов США оцениваются примерно в 30 т, а добыча их в 1980 г. составила 187 кг, в том числе платины – 89 кг.

ФОСФОР

Примерно 80% мировых ресурсов фосфоритов заключено в месторождениях кайнозойского возраста. Наиболее крупные из них сосредоточены в странах Северной Африки (Марокко, Тунис, Алжир, Египет, Западная Сахара) и в США (штат Флорида). Значительными источниками высококачественного фосфатного сырья служат также многочисленные месторождения коралловых островов Тихого океана, в особенности Науру и Ошен, а также остров Рождества в Индийском океане.

К числу уникальных фосфоритных бассейнов мира относится обширная фосфоритоносная зона, расположенная на территории Северной Африки и протягивающаяся вдоль побережья Средиземного моря от Марокко через Алжир в Тунис (рис. 117). Фосфоритоносные отложения – типичные морские образования геосинклинальных областей и представлены чередованием пластов плотных или рыхлых фосфоритных масс с мергелями и мергелистыми известняками.

Фосфоритная свита сильно дислоцирована и размыта; она сохранилась преимущественно в синклинальных структурах. Мощность свиты

Рис. 117. Схематический разрез месторождений Алжира – Туниса:
1 – фосфоритовые пласты; *2* – осадочные породы эоцена

изменяется от 7–12 до 80–100 м, а число фосфоритных пластов в ней – от 2 до 11 при мощности их от 0,1 до 6 м. Пласты фосфоритов состоят из мелких зерен фосфорита (0,1–0,5 мм), заключенных в фосфатном или известковистом цементе.

Крупнейшими в мире запасами фосфоритов располагает Марокко, где пласты фосфоритных пород образуют два бассейна: *Северный* в районе Курибга и *Южный* в районе Юссуфия. Руды отличаются высоким качеством. В Северном бассейне они содержат 33,5% P_2O_5, в Южном 32% (после ручной отборки кремнистых конкреций).

Мощность фосфоритной свиты колеблется от 40 до 60 м, а мощность отдельных пластов фосфорита – от 1,5 до 5 м. Разрабатываемые пласты представлены фосфоритными песками, иногда сцементированными фосфато-известковистым веществом. Кроме P_2O_5, они содержат в среднем R_2O_3 0,57%, CaO 53%, MgO 0,16%, F 4,24% и SiO_2 0,86%.

В месторождениях фосфоритов заключены также значительные ресурсы урана; содержание U_3O_8 в добываемых рудах 0,01–0,06%. Пологое залегание фосфоритов позволяет осуществлять на отдельных участках открытую добычу. Около 75% всей добычи фосфоритов в стране обеспечивают месторождения Северного бассейна.

Общие запасы фосфоритов в Марокко оцениваются в 40 млрд. т, в том числе доказанные – в 16 млрд. т при содержании в них P_2O_5 26–34%.

Производство товарной фосфоритной руды в стране возросло с 7,95 млн. т в 1960 г. до 20,14 млн. т в 1979 г. (18,8 млн. т в 1980 г.) В горнодобывающей промышленности Марокко фосфориты занимают исключительно важное место, составляя примерно 20% экспорта и почти половину общей продукции горной промышленности страны.

Месторождения Туниса образуют две фосфоритоносные полосы. Одна из них, южная, в районе г. Гафсы, заключает наиболее крупные месторождения (*Редейеф*, *Муларес*, *Метлави*), обеспечивающие свыше 80% добычи фосфоритов в стране. Фосфоритовая свита мощностью 80–100 м залегает между верхнемеловыми и неогеновыми отложениями и заключает до 10 пластов фосфоритов. Мощность последних обычно изменяется от 2 до 4 м, но иногда достигает 6 м. Содержание P_2O_5 в них составляет 23–30,5%, R_2O_3 1,29%, CaO 49,68%, MgO 0,990, F 2,86%, SiO_2 1,64%. Другая фосфоритоносная полоса располагается севернее, в районе Кальа-Джерды, и протягивается на территорию Алжира. Фосфориты залегают между мергелями палеоцена и нуммули-

товыми известняками нижнего эоцена. Общие запасы фосфоритов в Тунисе оцениваются в 1,2 млрд. т, из них доказанные – 0,27 млрд. т. В 1980 г. произведено 4380 тыс. т, из которых около 85% экспортировано.

Месторождения А л ж и р а расположены преимущественно в районах городов Тебессы и Токвиля. Группа месторождений Тебессы (*Джебель-Дир, Джебель-Куиф* и др.) служит непосредственным продолжением фосфоритовых месторождений Туниса. Разрабатывается от трех до шести пластов фосфоритов мощностью до 1,5–3 м. На наиболее крупном месторождении страны *Джебель-Онк* мощность фосфоритной свиты достигает 18–60 м. На месторождениях района Токвиля (*М'Зайта, Борд-Ридер, Металла*) мощность фосфоритных пластов колеблется от 0,4 до 3 м. Химический состав фосфоритов: P_2O_5 30,6%, R_2O_5 0,5%, CaO 20,75%, MgO 1%, SiO_2 1,65%. Достоверные запасы фосфоритов Алжира оцениваются в 0,15 млрд. т при содержании P_2O_5 23–28%. Годовое производство составляет 1 млн. т товарной руды.

Один из крупнейших в мире фосфоритовый бассейн открыт в 1963 г. в Западной Сахаре, геологические ресурсы которого оцениваются примерно в 10 млрд. т. Общие запасы руд разведанного в его пределах месторождения Бу-Акра оцениваются в 3,3 млрд. т, в том числе доказанные составляют 1,7 млрд. т при среднем содержании P_2O_5 31–33%.

Сравнительно небольшие месторождения фосфоритов третичного возраста известны в ряде других стран Африки. В С е н е г а л е к ним относится месторождение *Таиба,* приуроченное к среднеэоценовым отложениям. Общие запасы фосфоритов месторождения оцениваются до 100 млн. т. Третичным, вероятно, является также месторождение алюмофосфата *Полло,* представленное мощным (7–9 м) пластом фосфатизированных латеритоидов, в которых содержание P_2O_5 составляет 28–30%, а общие их запасы составляют 40 млн. т. Из этих руд получают продукты, предназначенные для откорма скота.

Общие запасы фосфоритовых руд Сенегала оцениваются в 180 млн. т, из них 120 млн. т, содержащих 25–30% P_2O_5, относятся к доказанным.

Месторождения фосфоритов разведаны также в Т о г о, где общие их запасы оцениваются в 100 млн. т, из которых половина относится к доказанным. Годовое производство товарных руд составляет 2–3 млн. т при среднем содержании в них P_2O_5 30%. В 100 млн. т оцениваются также запасы фосфоритов в А н г о л е.

В С Ш А третичные месторождения фосфоритов располагаются главным образом в западной части штата Флорида, где они распространены на площади, превышающей 550 тыс. га. Они приурочены к пологому антиклинальному поднятию, сложенному эоценовыми известняками и отложениями формации хауторн, среди которых преобладают фосфатизированные известняки. На них несогласно залегают плиоценовые образования формации алачуа, в основании которой залегают так называемые твердые фосфориты (hard rock), составляющие 30% всех запасов фосфоритов Флориды (1,6 млрд. т).

Месторождения твердых фосфоритов приурочены к полосе, вытянутой вдоль Мексиканского залива на 240 км при ширине от 8 до 40 км. Фосфориты залегают на неровной закарстованной поверхности известняков формации хауторн. Мощность их изменчива и иногда достигает 30 м. Фосфориты содержат P_2O_5 33–36%, R_2O_3 1,2–2,7%, MgO 0,1–0,5%, CaO 43–51%, F 3,4–3,9%, SiO_2 4–7%. Образование фосфоритов связывается с выщелачиванием известняков формации хауторн и последующим растворением и переотложением фосфатного материала с частичным метасоматическим замещением известняков.

Более крупные ресурсы заключены в морских месторождениях желваковых или галечных фосфоритов. Фосфоритные пласты мощностью от 0,3 до 7,5 м залегают на размытой поверхности отложений формации хауторн и состоят из округлой или угловатой гальки (желваков) фосфоритов размером от долей сантиметра до 3,5 см, заключенной в песчаном или глинистом материале. В среднем выход фосфоритных желваков из общей массы составляет около 25%. Фосфориты содержат P_2O_5 30–34%, R_2O_3 1,7–3,6%, CaO 46–50%, MgO 0,1–0,6%, F 3,5–3,9%, SiO_2 7,10% и, кроме того, уран, который извлекается при переработке фосфоритов начиная с 1957 г. Урановая минерализация приурочена преимущественно к зоне развития вторичных минералов фосфора (крандаллит, вавеллит, миллисит), где содержание U_3O_8 колеблется от 0,01 до 0,15%.

Месторождение галечных фосфоритов заключает примерно 70% (3,55 млрд. т) общих запасов Флориды. Добыча их производится открытыми работами с широким применением гидравлического способа. Отделение фосфоритов от вмещающих пород осуществляется флотацией с извлечением до 95%.

В незначительном объеме ведется добыча речных галечных фосфоритов, образовавшихся в результате размыва фосфоритовых месторождений и фосфатизированных известняков формации хауторн и переотложения фосфоритного материала речными потоками. Галечные фосфориты интенсивно разрабатывались с 1888 г., и запасы их почти полностью истощены. Месторождения Флориды заключают более 5 млрд. т фосфоритов и дают около 75% годовой добычи фосфоритов в США.

Сходные с флоридскими по возрасту фосфориты широко распространены в Северной Каролине, где они занимают значительные площади на побережье Атлантического океана и в долинах рек Памлико и Панго. От флоридских они отличаются повышенным содержанием органического вещества и растворяются в 2%-ной лимонной кислоте в два раза лучше их и поэтому могут непосредственно применяться в качестве удобрений. Продуктивная толща мощностью до 12 м сложена пластами фосфатных песков с прослоями известняков. Пески состоят из сферических образований коллофана (0,5–0,25 мм), угловатых обломков кварца с примесью алеврита и органических веществ. Среднее содержание в них P_2O_5 составляет 13%. Мощность вскрышных пород

достигает 18 м. Наиболее крупное месторождение *Панго-Ривер* разрабатывается с 1965 г.

Третичные (эоценовые) месторождения фосфоритов известны в штате Южная Каролина. Они представлены фосфатизированными мергелями и образовавшимися из них речными галечниками. Содержание P_2O_5 в фосфоритах – около 25%.

В штатах Техас и Нью-Мексико известны небольшие месторождения гуано, имеющие местное значение. Содержание P_2O_5 в месторождениях штата Нью-Мексико достигает 32%.

Третичные фосфатизированные известняки и мергели довольно широко распространены на территории западных штатов США, но они не имеют промышленного значения из-за низкого содержания фосфора. В 1980 г. производство товарных фосфоритовых руд в США достигло 53,4 млн. т или 55% суммарного их производства в капиталистических и развивающихся странах. США занимает большой удельный вес в мировом экспорте фосфоритов.

Предполагается, что максимальное производство товарной фосфоритовой руды может достигнуть на предприятиях Флориды 50 млн. т в 1995 г., а затем в связи с истощением запасов многих месторождений уровень добычи снизился примерно в два раза. В Северной Каролине максимальный уровень добычи 18 млн. т может быть достигнут в 1995 г., и этот уровень, исходя из состояния разведанных запасов, может сохраниться в течение длительного промежутка времени.

В Южной Америке к кайнозою относится крупный фосфоритоносный бассейн, выявленный недавно в П е р у. Месторождения его расположены в западной части пустыни Сечура вдоль тихоокеанского побережья. Они приурочены к мощным (200 м) миоценовым отложениям, представленным диатомитами и брекчированными фосфоритами, среди которых выделяется несколько рудных зон. Наиболее крупная зона Диана мощностью 35–40 м включает до семи пластов зернистых фосфоритов мощностью 1–1,5 м, содержащих от 7,5 до 23,7% P_2O_5. Путем промывки и воздушной сепарации из них получается концентрат, в котором содержание P_2O_5 составляет 27% при извлечении более 65%.

Общие запасы фосфоритов бассейна оцениваются в 1500 млн. т, из них 500 млн. т доказанных.

Значительный интерес представляют месторождения гуано, особенно широко распространенные на коралловых островах Тихого и Индийского океанов, а также в Японии, КНР, Чили. Наиболее крупные месторождения фосфоритов органогенного происхождения сосредоточены на островах Р о ж д е с т в а, Н а у р у, О ш е н. Разрабатываются также залежи фосфоритов, возникшие в результате замещения известняков, подстилающих гуано. Мощность зоны фосфатизации колеблется от 1,8 до 12–19 м. Химический состав фосфатизированных пород следующий: P_2O_5 38,3–40,3%, R_2O_3 0,2–0,9%, CaO 51,8–54,7%, MgO 0,01–0,1%, F 1,3–2,6%, SiO_2 0,12–0,6%, п. п. п. 1,9–3,24%.

Общие запасы фосфатного сырья составляют: на о.Рождества –

290 млн. т при содержании P_2O_5 23–37% (добыто в 1980 г. 1,5 млн. т), на о. Науру – 50 млн. т при содержании P_2O_5 37–40% (добыто 1372 тыс. т), на о. Ошен – 5 млн. т при содержании P_2O_5 36–42% (добыто 0,5 млн. т).

Добыча гуано производится также на островах Чили, КНР, Японии, в незначительных количествах – на Мадагаскаре и на Сейшельских островах.

В Западной Европе мелкие месторождения фосфоритов известны среди отложений олигонена в Австрии. Мощность фосфоритного пласта достигает 4,7 м, содержание P_2O_5 – около 4%. Желваки фосфоритов залегают в песчаном материале. В концентрате содержание P_2O_5 составляет 22–28%.

Небольшие месторождения желваковых фосфоритов третичного возраста известны в ряде районов СССР.

К кайнозою, вероятно, относятся подводные залежи фосфоритов, широко распространенные на шельфах и континентальных склонах Тихого, Индийского и Атлантического океанов.

В пределах Тихого океана они встречены на внешней части Калифорнийского континентального шельфа, на островных шельфах, на вершинах и склонах подводных холмов и склонах котловин на глубинах до 330 м. Скопления фосфоритов приурочены к участкам дна с замедленной или нулевой седиментацией. Фосфориты слагают зерна, конкреции и плиты, представляют собой плотные породы от светло-коричневого до черного цвета с зернами размером 0,12–0,25 мм. Концентрация этого материала на дне достигает 100 кг/м^2.

Фосфориты содержат фосфатные оолиты с ядрами из раковин фораминифер, зерен глауконита и обломочного материала. Фосфат входит также в состав цемента и представлен коллофаном и франколитом. На юго-западном шельфе Калифорнийского полуострова фосфориты распространены на площади 13 тыс. км^2 и встречаются преимущественно на глубинах до 100 м. Основными компонентами являются карбонатфтор-апатит и кремнезем. Содержание P_2O_5 в фосфоритах достигает 30%.

У Калифорнийского побережья подготовлены к разработке две площади подводных залежей: первая – близ Сан-Диего с конкрециями фосфоритов, вторая – в заливе Санто-Доминго, представленная фосфатизированными песками.

На шельфе северной части Чили скопление фосфоритовых конкреций различной плотности и костей встречено на глубине 150 м в зоне распространения терригенно-диатомовых осадков. Содержание P_2O_5 составляет 22, 1%.

Фосфориты у побережья Перу приурочены к полосе распространения терригенно-диатомовых осадков. Представлены они округлыми и плитчатыми конкрециями, среди которых выделяются рыхлые и плотные разности, содержащие в среднем 19, 4% P_2O_5.

На поднятии Чатам к востоку от о. Южный (Новая Зеландия) фосфоритовые конкреции найдены в гравийных осадках на глубинах 285–468 м. Конкреции размером до 10 см неправильной формы сложены ра-

ковинами фораминифер и известковым цементом, неравномерно замещенным коллофаном. Содержание P_2O_5 в конкрециях составляет 21,8%.

В центральной части Тихого океана на вершинах и склонах подводных гор фосфориты представлены фосфатизированными известняками, валунами и плитами измененного базальта с порами, заполненными фосфатом, туфобрекчиями и фосфатным цементом. Содержание в них P_2O_5 достигает 31,87%.

В Индийском океане фосфориты установлены у подводной окраины Южной Африки на шельфе о. Сокотра и западном шельфе Индостана; они распространены на глубинах от 100 до 300 м в грубозернистых известковых осадках и представлены конкрециями размером 1–6 см, сложенными тонкодисперсным скрытокристаллическим фосфатом, кальцитом и биогенным карбонатным материалом (раковины фораминифер). Содержание P_2O_5 составляет 16,44 %, а в фосфоритах о. Сокотра – 28,6 %.

В Атлантическом океане фосфориты к востоку от Флориды на плато Блейк распространены в его северо-западной относительно мелководной (200–400 м) части. Представлены они зернами, конкрециями и глыбами. Как правило, это фосфатизированные известняки, состоящие из раковин планктонных фораминифер, терригенного материала и фосфатного цемента.

На шельфе восточного побережья США фосфориты распространены в полосе более 1400 миль от Новой Шотландии до южной оконечности Флориды и представлены фосфатными песками и конкрециями, в которых содержание P_2O_5 составляет 22,7%.

На шельфах Джорджии и Северной Каролины концентрация фосфатных зерен в кварцево-фораминиферовых песках достигает 40%. На банке Джорджес и на подводной террасе Пуртале встречаются фосфоритовые конгломераты.

Фосфориты у северо-западного побережья Африки представлены фосфатными известковыми песками, фосфатизированными известняками, фосфоритовыми конгломератами.

Фосфоритные пески, содержащие до 8% P_2O_5, распространены на внешнем шельфе Марокко и Северной Сахары.

Фосфоритные конгломераты с шельфа Марокко более богаты (18,88% P_2O_5) и состоят из фосфатных желваков, скрепленных фосфатно-карбонатным цементом.

На внешнем шельфе Намибии распространены фосфатные пески, а в отдельных пунктах также крупные фосфоритовые конкреции и глыбы. На внутреннем шельфе в зоне распространения современных диатомовых илов обнаружены аутигенные фосфатные стяжения. По мере прогрессирующей фосфатизации диатомовых илов и литификации образующихся конкреций содержание в них P_2O_5 возрастает от 5 до 33%.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ

Месторождения калийных солей кайнозойского возраста известны в ряде стран, но по своим ресурсам они значительно уступают верхнепалеозойским месторождениям. Наиболее крупным из них является *Эльзасское* месторождение во Ф р а н ц и и, приуроченное к отложениям среднего олигоцена. Соленосная толща залегает на глубине 200–800 м и включает две залежи каменной соли. В средней части верхней залежи, общая мощность которой составляет 200–300 м, выделяются два горизонта калийных солей, разделенных пластом каменной соли. Наибольший промышленный интерес представляет нижний, или главный, горизонт. Он состоит из трех калийных пластов мощностью 0,7; 1,7 и 2 м, разделенных тонкими (0,2 м) прослоями доломитового мергеля. Нижний и средний пласты слагаются прослоями розового и красного сильвинита и каменной соли. Верхний пласт представлен тонким чередованием сильвинита с каменной солью и глинистыми прослоями. Местами в нем выделяются также прослои карналлита. Содержание K_2O в солях месторождения составляет 14–20%. Среднее содержание K_2O в добытых рудах составляло 17%.

Достоверные запасы калийных солей во Франции в пересчете на K_2O составляют 50 млн. т. Годовая добыча их достигла 1,9 млн. т.

Продолжением Эльзасского месторождения служат соленосные отложения района *Бадена* в Ф Р Г. Здесь установлено два пласта преимущественно сильвинитового состава, датируемых средним олигоценом. По сравнению с верхнепалеозойскими месторождениями практическое значение этих соленосных отложений ничтожно.

Значительными ресурсами калийных солей обладает Испания, кайнозойские месторождения которой расположены в провинциях Каталония и Наварра.

Соленосные отложения, выявленные в 60 км от г. Барселоны, приурочены к самым нижним слоям олигоцена и залегают на глубине в среднем 600 м, местами погружаясь до 1600 м. Калийные соли слагают две зоны, разделенные толщей чистой каменной соли мощностью 200–300 м. Практическое значение имеет только верхняя зона мощностью 60–70 м, в пределах которой выделяются три горизонта, представленные сильвин- и карналлитсодержащими пластами, которые обычно переслаиваются с пластами каменной соли. Продуктивные отложения подстилаются и перекрываются каменной солью с прослоями ангидрита. Среднее содержание K_2O в учтенных запасах калийных солей составляет 14,5%, в разрабатываемых пластах оно колеблется от 9–10 до 15–20%.

В провинции Наварра соленосные отложения распространены на площади 56 км^2; они также приурочены к основанию олигоценовых отложений и наряду с каменной солью заключают ряд пластов калийных солей. Основной промышленный пласт сильвинита средней мощностью 3,25 м содержит 22,16% K_2O. Общие запасы калийных солей Испании в пересчете на K_2O составляют 60 млн. т.

Производство калийных удобрений в стране, занимающей третье

место в Западной Европе по объему выпуска этой продукции, в 1980 г. достигло 680 тыс. т K_2O. На месторождении в Каталонии базируется три рудника, а в Наварре – один.

Общие мощности калийных рудников в Испании в настоящее время достигают 900 тыс. т K_2O в год, однако предприятия работают с большой недогрузкой, и к концу текущего десятилетия добыча должна достигнуть 880 тыс. т.

В Италии калийные залежи неогенового возраста выявлены в Кальтаниссетской впадине (о. Сицилия). Разведаны две линзы каинитовых руд с условно рентабельными запасами 9 млн. т. Содержание K_2O в руде составляет 12%. В 1980 г. в стране добыто 131 тыс. т K_2O.

В СССР к соленосной формации миоцена приурочены *Прикарпатские* месторождения калийных солей. В пределах Украинской ССР соленосная толща прослеживается вдоль северо-восточного склона Карпатских гор в виде непрерывной полосы шириной от 0,5 до 25–30 км при мощности от 50–60 м в восточной части (где наблюдается постепенное выклинивание ее или замещение гипсово-ангидритовой породой) до 400–500 м в центральных и западных частях. Толща сложена каменной солью с переменным количеством глинистого материала и содержит прослои и линзы песчаников, конгломератов, глин и ангидритов.

Залежи калийных солей, образующие в соленосной толще пластовые линзы, отличаются сложным минеральным составом. Основными калийными минералами являются сильвин, карналлит, каинит, лангбейнит, пикромерит (шёнит) и полигалит. Среди промышленных типов солей выделяются сильвинитовая, каинитовая, твердая каинит-лангбейнитовая и лангбейнитовая разности. Соли Стебникского месторождения почти целиком представлены сернокислыми разностями. В Калуш-Голынском месторождении преобладают сильвинитовые соли.

Крупные ресурсы калийных солей заключены в оз. Серлс в США (штат Калифорния). Соленосные отложения и рассолы этого озера, представляющего собой остаток древнего бессточного бассейна, обладают разнообразным составом, и из них наряду с калийными солями извлекаются соли бора, бром, сульфат натрия, сода и литий. Добыча солей производится из рассолов, в которых содержание KCl от поверхности до глубины 4,5 м возрастает от 2,25 до 3,5%, в интервале глубин 4,5–9 м составляет около 4% и на глубинах от 9 до 21 м увеличивается до 5%. В районе оз. Сёрлс и в смежных районах штатов Нью-Мексико и Техас широко распространены также залежи полигалита.

Калийные соли третичного возраста известны в Эфиопии, где они приурочены к соленосным отложениям Данакильской депрессии общей мощностью 960 м. Залежь каменной соли содержит слои сильвинитовых, карналлитовых и каинитовых солей, прослеженных на площади около 2 км^2. Мощность продуктивного горизонта составляет 100–150 м, глубина залегания 35–190 м на западе и до 1000 м на востоке. Содержание KCl в карналлитовых солях колеблется от 20 до 25%. Общие запасы K_2O оцениваются в 20 млн. т.

К развитой на севере Т у н и с а мощной позднемиоценовой соленосной толще приурочено месторождение калийных солей, ресурсы которых оцениваются в 1 млрд. т. Данные о качестве солей и условиях их залегания отсутствуют.

Накануне второй мировой войны практическое значение в качестве источников калийных солей приобрели воды Мертвого моря, акватория которого составляет 1000 км^2, а средняя глубина 146 м. Среднее содержание солей в них составляет 24,5%, из них 9,1% приходится на $MgCl_2$, 8,5% – на NaCl, 3,5% – на $CaCl_2$ и 1,4% – на KCl. Извлекаемые запасы калийных солей в пересчете на K_2O оцениваются в 200 млн. т. Добычу калийных солей из вод Мертвого моря осуществляет И з р а и л ь. В 1980 г. добыто 350 тыс. т.

Промышленные концентрации хлористого калия установлены в донной рапе и глубинных рассолах озера Индер в Казахстане. Крупные ресурсы калийсодержащих рассолов заключены в заливе Кара-Богаз-Гол.

ФТОР

Большинство кайнозойских промышленных месторождений плавикового шпата сосредоточено в странах Западного полушария, преимущественно в Мексике и США.

М е к с и к а занимает первое место среди капиталистических и развивающихся стран по добыче плавикового шпата, месторождения которого широко распространены во многих районах страны. Общие запасы руд, в которых среднее содержание CaF_2 составляет 35–70%, оцениваются в 90 млн. т, из них доказанные – 62 млн. т. Наиболее крупные месторождения расположены в трех штатах – Герреро, Коауила и Сан-Луис-Потоси, где они приурочены к минерализованным тектоническим зонам на контакте третичных вулканогенных образований и конгломератов с известняками мелового возраста. В штате Герреро зона прослежена по простиранию на 8 км при ширине до 160 м. В ее пределах породы разбиты многочисленными сбросами, окварцованы, серицитизированы и замещены плавиковым шпатом, который в виде тонкозернистого агрегата, часто в тесном прорастании с кварцем образует скопления различной формы и размеров как среди риолитов, так и среди известняков.

По качеству плавиковошпатовых руд, оцениваемых в 1 млн. т, выделялось месторождение *Асуль*. Скопления плавикового шпата иногда приурочены здесь к впадинам в известняках, выполненным вулканическим пеплом. Для месторождения характерно присутствие в сравнительно больших количествах геарксутита $CaAl(F,OH)_5 \cdot H_2O$, образующего отдельные скопления и псевдоморфозы по флюориту преимущественно в риолитах. Около половины подсчитанных запасов руд характеризуются содержанием CaF_2 более 85%. На другом месторождении (Гавилан) флюорит имеет натечные формы и образует скопления в смеси с глинистым веществом.

В штате Коауила оруденение локализовано на контакте сланцев и известняков мелового возраста и в известняках в местах их переслаи-

вания с кварцитом. Оно проявлено в форме согласных залежей и крутопадающих трубообразных тел. Основные ресурсы плавиковошпатовых руд связаны с пластообразными залежами, длина которых колеблется от 6 до 75 м, мощность от 0,6 до 7,5 м при ширине, достигающей 30 м. Диаметр трубообразных тел колеблется от 1,5 до 2,5 м, а по падению они прослеживаются до 20 м. Преобладают крупнокристаллические руды, содержащие 70–90% CaF_2. Общие запасы их оцениваются в 6 млн. т.

Крупнейшее в стране месторождение *Лас-Куэвас* расположено в штате *Сан-Луис-Потоси.* На его базе создан рудник производственной мощностью 300 тыс. т высокосортного концентрата, преимущественно металлургического сорта (в 1980 г. – 160 тыс. т). Разрабатывались руды, содержащие 70–90% CaF_2; запасы их в значительной степени уже истощены.

Многочисленные месторождения плавикового шпата известны также в других районах страны. Многие из них расположены в районах свинцово-серебряных месторождений и приурочены преимущественно к известнякам верхнего мела и третичным риолитам и туфам. Месторождения представлены как залежами замещения, так и трещинными жилами и линзами. Кроме флюорита и кварца, руды содержат в переменных количествах сульфиды свинца, цинка и железа, а также барит.

Производство плавиковошпатовых концентратов в Мексике, достигшее 1089 тыс. т в 1975 г., снизилось до 916 тыс. т в 1980 г.

В С Ш А с различными проявлениями кайнозойского магматизма, особенно с кварц-монцонит-порфирами, генетически связаны месторождения плавикового шпата западных штатов – Колорадо, Юта, Монтана, Вайоминг и Айдахо. По разведанным запасам и масштабам добычи они уступают месторождениям верхнепалеозойского возраста. В отличие от последних большинство месторождений западных штатов заключено в гранитах, андезитах, риолитах и других изверженных породах, а также в кристаллических докембрийских сланцах и представлено преимущественно жилами и рудными брекчированными зонами. Отдельные жилы имеют мощность до 6 м, брекчированные зоны – до 20 м. Протяженность их по простиранию колеблется от 150 до 1000 м. Кроме флюорита, руды содержат кварц, карбонаты, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, марказит и в качестве незначительной примеси – урановую смолку. В разрабатываемых рудах содержание CaF_2 составляет 45–70%. Добыча плавикового шпата осуществляется также попутно с добычей цветных металлов.

Многочисленные мелкие месторождения плавикового шпата развиты также в юго-западных штатах США, где они приурочены главным образом к третичным риолитам и реже к известнякам.

Месторождения плавикового шпата предположительно третичного возраста известны в Аргентине, Бразилии и Боливии. В Аргентине разрабатываются жильные месторождения, расположенные в провинции Кордова. Общие запасы их определяются всего в 100 тыс. т руды со средним содержанием CaF_2 50–58%. В последние годы здесь выявлены новые перспективные месторождения.

Сравнительно небольшие третичные месторождения плавикового шпата известны в Северной Африке и в Западной Европе.

В восточных районах Марокко с третичными дайками кислых интрузивных пород пространственно ассоциируют кварц-флюоритовые жилы и гнездообразные скопления в юрских карбонатных породах. Месторождения отличаются мелкими масштабами, но сравнительно высоким качеством руд.

В 1978 г. завершена разведка месторождений *Ел Хамман* в провинции Мекнес, разработка которого была прекращена в 60-е годы. Разведано новое рудное тело мощностью около 5 м, доказанные запасы которого составляют более 2 млн. т руды, содержащей в среднем 54% CaF_2.

Общие запасы плавиковошпатовых руд в стране оцениваются в 3,5 млн. т при среднем содержании CaF_2 40–50%. Производство концентратов в 1980 г. составило 63, 2 тыс. т.

С третичным магматизмом, вероятно, связано месторождение *Хамам Зриба* – единственный источник добычи плавикового шпата в Тунисе. Пластообразная рудная залежь замещения в юрских известняках прослеживается с перерывами более чем на 2 км. Протяженность 50–60 м при мощности 1–2 м. В разрабатываемых рудах содержание флюорита достигает 90%. В рудах присутствуют барит, целестин и галенит.

К третичному возрасту, по-видимому, относится также ряд месторождений Италии, в частности месторождения Ломбардии. Гнезда, скопления и жилообразные залежи плавикового шпата залегают здесь в триасовых известняках и местами ассоциируют со свинцовыми и цинковыми рудами. Руды содержат 50–55% CaF_2, около 20% $CaCO_3$, 10% SiO_2, 2% Zn и 1% Pb. Наиболее крупное месторождение *Торгола* представлено жилой, сложенной флюоритом, кварцем и кальцитом с содержанием сфалерита и серебросодержащего галенита. Жила залегает в порфиритах и прослеживается по простиранию на 1000 м и на глубину на 200 м при средней мощности 8 м.

Запасы руд третичного возраста в Италии составлялись в 1 млн. т.

Возможно, в кайнозое образовалось недавно открытое вблизи Рима месторождение *Пьянчано.* Общие запасы его руд оцениваются в 7,72 млн. т при среднем содержании CaF_2 43,88%. Месторождение представлено пластовыми рудами, залегающими на глубине от 8 до 24 м.

С учетом верхнепалеозойских месторождений общие запасы плавиковошпатовых руд Италии составляют 21 млн. т, из них доказанные – 19 млн. т. В 1980 г. произведено 189 тыс. т концентратов.

К олигоцен-миоценовому возрасту предположительно относятся месторождения Михалковской группы в Болгарии. Плавиковошпатовое оруденение представлено метасоматическими пластовыми линзами, приуроченными к контактам мраморов со сланцами и гнейсами. Содержание в рудах фтористого кальция превышает 40%.

Среди известных промышленных месторождений самородной серы выделяются два основных генетических типа: 1) экзогенные, приуроченные к галогенным формациям сульфатно-карбонатного состава, инфильтрационно-метасоматического генезиса; 2) эндогенные (вулканогенные) гидротермально-метасоматического типа. По времени образования месторождения второго типа относятся к кайнозою; лишь некоторые из них приурочены к отложениям более ранних геологических эпох.

Среди капиталистических и развивающихся стран второе место по разведанным запасам и первое место по добыче и потреблению самородной серы занимают США. Основные месторождения ее расположены в прибрежной низменности Мексиканского залива в штатах Техас и Луизиана. Залежи серы приурочены к многочисленным (около 200) соляным куполам, внедрявшимся в толщу меловых и третичных отложений; большая часть этих структур разрабатывается на нефть и газ. Серные залежи располагаются в средней части каменных шляп (cap rock), подстилаются ангидритами и гипсами, залегающими в кровле куполов, и покрываются известняковыми породами (рис. 118). Сероносны здесь пористые известняки и ангидриты, в которых плотная аморфная, реже натечная и кристаллическая сера заполняет пустоты, каверны, трещины или образует цемент брекчии и отдельные прослои. Мощность сероносных горизонтов, залегающих на глубинах от 90 до 9000 м, составляет 30–40 м. Содержание серы в породе обычно колеблется от 10 до 70%, а иногда достигает 95–98%. Отдельные купола достигают в диаметре 1200 м, и в этих случаях запасы серы в них исчисляются миллионами тонн.

В последние годы аналогичные месторождения выявлены в акватории Мексиканского залива. Наиболее крупное подводное месторождение *Гранд-Айл* расположено в 10 км от берега (глубина воды 15 м) и занимает площадь 1 км^2. Мощность его серосодержащего горизонта, залегающего на глубине 500–700 м, колеблется от 70 до 130 м. Он представлен синевато-серыми мелкозернистыми трещиноватыми пористыми известняками, в которых среднее содержание серы на бедных участках достигает

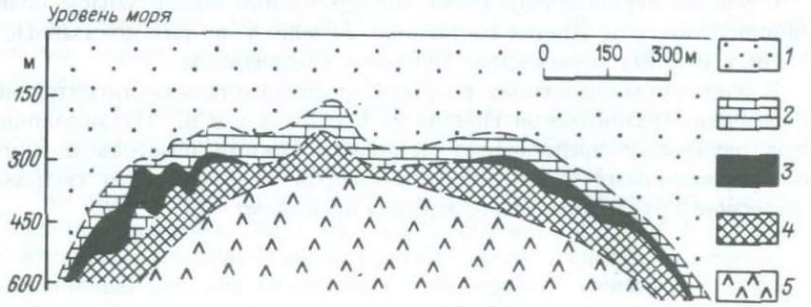


Рис. 118. Разрез соляного купола Хоснинс Моунд в Техасе *(по Э. Лиллею)*:

1 – рыхлые породы; *2* – известняки, не содержащие серу; *3* – серосодержащие известняки; *4* – ангидриты; *5* – соль

15%, а на более богатых – 30%. Мощность верхней зоны кепрока колеблется от 1 до 80 м и в среднем составляет 30 м. Зона сложена плотными серыми известняками с вторичным кальцитом, цементирующим трещины и пустоты. Мощность подстилающего плотного ангидрита колеблется от 10 до 60 м. Общие запасы серы месторождения оцениваются в 30–35 млн. т при среднем ее содержании 22%. Из других разведанных месторождений по масштабам минерализации выделяются *Растлер-Спрингс* с общими запасами 60 млн. т при содержании серы 15–18% и *Болинг-Дум* –25 млн. т при 18%.

Месторождение Растлер-Спрингс разрабатывается с сентября 1969 г. Продуктивные отложения средней мощностью 145 м залегают на глубине от 72 до 377 м и оконтурены на площади более 250 га. Достигнутая производительность рудника превышает 2 млн. т серы. В стране известны также сравнительно небольшие месторождения вулканогенной серы и месторождения, связанные с горячими источниками или фумаролами.

Общие запасы во всех природных источниках, рентабельные для разработки при современной технологии, оцениваются в 200 млн. т серы, а доказанные в 76 млн. т при содержании ее 15–50%.

В последние 20 лет годовая добыча самородной серы в стране сохраняется примерно на одном уровне и составляет 5–6 млн. т.

Основные месторождения природной серы в Мексике, как и в США, приурочены к соляным куполам, широко развитым на побережье Мексиканского залива, в районе перешейка Туантепек. Здесь разведан ряд соляных куполов, в сероносных покровах которых содержание серы в среднем составляет 27–33%. Наиболее крупные ее запасы выявлены в районах *Сан-Кристобаль* и *Текситипек*. Все купола пригодны для отработки методом Фраша. Добыча серы в Мексике началась в 1952 г. и в 1979 г. достигла 1960 тыс. т. Общие запасы самородной серы в стране оцениваются в 90 млн. т, а доказанные – в 77,5 млн. т.

Многочисленные месторождения самородной серы эндогенного происхождения известны и в сравнительно небольших объемах разрабатываются в Южной Америке. В Чили они расположены в Кордильерах, на границе с Аргентиной, и приурочены к кратерам вулканов. Один из рудников находится на вершине горы Ауканквилха, абсолютная высота которой составляет 6200 м. Это самое высокогорное предприятие в мире. Содержание серы в рудах колеблется от 40 до 50%. Общие запасы серы в месторождениях Чили оцениваются в 100 млн. т. Годовая добыча находится на уровне 30–40 тыс. т.

В Аргентине основная добыча серы сосредоточена вблизи вулканов Антофилья и Тукли. Разработка месторождений, расположенных на высоте 3000–5000 м, производится примитивными методами. Содержание серы в рудах достигает 65–75%. Годовая добыча серы составляет примерно 30 тыс. т, и доказанные ее запасы оцениваются в 5 млн. т.

Сходные по геологическому строению и характеру минерализации месторождения известны также в Боливии, Колумбии и в ряде других стран Южной Америки. Они приурочены к кратерам вулканов

и обычно расположены в труднодоступных высокогорных районах. Годовая добыча серы в Боливии, составлявшая около 40 тыс. т, в 1980 г. снизилась до 15 тыс. т; общие запасы страны составляют 5,5 млн. т и доказанные – 1,8 млн. т; соответственно в Колумбии – 20 тыс. т, 4,0 млн. т и 0,38 млн. т.

Среди капиталистических и развивающихся стран наиболее крупными ресурсами самородной серы располагает И р а к. Общие ее запасы составляют 335 млн. т, в том числе доказанные – 83 млн. т; запасы самого крупного месторождения *Мишрак* – соответственно 245 и 75 млн. т при среднем содержании серы в руде 23%. Продуктивная толща месторождения сложена известняками, мергелями, гипсами и ангидритами среднего миоцена. Она включает три пологозалегающих сероносных пласта, которые в южной части месторождения сближаются, образуя единый горизонт. Мощность отдельных пластов варьирует от 1–2 до 33–47 м. Руды представлены кавернозными и трещиноватыми известняками, в которых содержание крупнокристаллической серы по промышленным участкам колеблется от 11,5 до 51,5%. Попутно с серой разведаны запасы гипса (примерно 700 млн. т), залегающего над серными рудами. Выявлен также ряд других перспективных на серу структур. Разведаны еще два месторождения в районах Лаззака и Эль-Фатка, запасы самородной серы которых составляют соответственно 50 млн. и 40 млн. т. В 1980 г. добыча серы составила 500 тыс. т.

Видное место по ресурсам и добыче серы в прошлом занимала Я п о н и я, где многочисленные месторождения серы, генетически связанные с третичным вулканизмом, представлены пластообразными залежами, линзами и штоками, с относительно высоким содержанием серы. Наиболее значительные из них расположены на островах Хонсю и Хоккайдо. Среднее содержание серы в разрабатывавшихся рудах достигало 43%. Породы, содержащие серу, залегают непосредственно на поверхности, и добыча осуществлялась открытым способом. В 1968 г. добыча самородной серы достигла 260 тыс. т и к 1978 г. сократилась до 20 тыс. т при одновременном стремительном росте производства элементарной серы, извлекаемой из импортируемой нефти на нефтеперегонных заводах, а также металлургических газов и других источников. Годовое ее производство достигло 2,8 млн. т. Добыча самородной серы в стране полностью прекращена, хотя выявленные ее общие запасы оцениваются в 10 млн. т.

Из других стран Азии сравнительно небольшие месторождения серы известны в Турции, Индонезии, Индии, Иране, Пакистане и Филиппинах.

В Т у р ц и и из 10 известных месторождений разрабатывается только месторождение *Кечиборли* в Анатолии. Руды, представленные серосодержащими известняками, отличаются высоким качеством; содержание серы 45–70%. Годовая добыча серы не превышает 25 тыс. т. Общие и доказанные ее запасы составляют 500 тыс. т.

В И н д о н е з и и добыча серы в небольшом объеме (3–4 т) производится на мелких месторождениях, суммарные запасы которых оцениваются в 1 млн. т; из них в месторождениях о. Ява заключено 600 тыс. т,

о. Суматра – 250 тыс. т и о. Сулавеси – 150 тыс. т. Месторождения представлены отложениями серы в кратерах современных вулканов или скоплениями сероносного ила в кратерных озерах. Основные запасы сосредоточены в сероносных илах озер, в которых содержание серы колеблется от 30 до 70%.

Ряд промышленных месторождений серы разведан в последнее время в И о р д а н и и. Общие и доказанные запасы серы составляют 35 млн. т.

Одно из ведущих мест в мире по запасам самородной серы в последнее время заняла П о л ь ш а, на юге которой открыт ряд месторождений, приуроченных к морским миоценовым формациям (тортонский ярус), заполняющим Карпатскую краевую впадину. Наибольшее практическое значение имеет месторождение *Тарнобжег*. Продуктивный горизонт прослежен на протяжении примерно 16 км при ширине до 3 км. Сероносный пласт представлен известняками и мергелями, импрегнированными серой трех полиморфных разновидностей: кристаллической, плотной и пылеватой. Средняя мощность пласта колеблется от 5 до 10 м, а в центральной части превышает 20 м. Глубина залегания его изменяется от 15 м на западе до 100 м на востоке. Кровлю сероносного пласта слагают так называемые краковецкие глинистые сланцы, а подстилается он тортонскими песками, лежащими на кембрийском основании. Содержание серы составляет 20–30%, а в некоторых пачках возрастает до 50%. Запасы превышают 100 млн. т серы. Известен и ряд других месторождений серы, аналогичных по геологической позиции и характеру минерализации.

Из стран Западной Европы значительными ресурсами самородной серы обладает И т а л и я. Разрабатывавшиеся здесь многочисленные месторождения сосредоточены преимущественно на о. Сицилия, в провинциях Агридженто, Кальтанисетта и Катания. Сероносные породы распространены на огромной территории (около 15 000 км^2), в пределах которой насчитывается более 1300 серных разработок.

Сероносность приурочена к верхнемиоценовым щебенисто-мергелистым известнякам, сопровождаемым гипсом и битуминозными мергелями. Продуктивные горизонты, заключающие отдельные линзы, залежи, жилы, прослойки или гнездообразные скопления серы, распространяются до глубины 300–365 м от поверхности. С серой обычно ассоциируют кальцит, арагонит, целестин и гипс. Часто сероносные пласты сопровождаются битуминозными глинами и иногда подстилаются пластами каменной соли. Перекрываются они толщей гипса и битуминозных мергелей с отдельными линзами вторичной серы. В кровле сероносной толщи развиты фораминиферовые мергели и известняки нижнего плиоцена. Предполагают, что сероносные отложения когда-то покрывали большую часть острова; но в результате тектонических процессов, последующей денудации и поверхностной эрозии сплошные сероносные пласты были разбиты на ряд более мелких.

Среднее содержание серы в разрабатываемых рудах составляет 20–24%. Встречаются участки с содержанием серы 50% и больше. Разработ-

ка серных месторождений в Италии осуществляется уже более 300 лет; за это время добыто более 50 млн. т серы. Оставшиеся запасы серы оцениваются в 20 млн. т. В 1960 г. добыто 80 тыс. т, а в 1980 г. – 15 тыс. т.

Месторождения самородной серы в пределах Африки известны в Эфиопии и Египте. В Эфиопии они расположены в провинции Эритрея и представлены рудами вулканогенного типа со средним содержанием серы 15%. Общие и доказанные ее запасы достигают 1 млн. т. В Египте месторождения расположены на побережье Красного моря у г. Гемза и приурочены к гипсовым отложениям. Руды содержат более 20% серы. Месторождения серы известны также на Синайском полуострове. Общие запасы серы в стране оцениваются всего в 140 тыс. т.

Месторождения серы осадочного и вулканогенного происхождения известны в различных районах СССР. Наиболее интересны в практическом отношении осадочные месторождения *Предкарпатского* сероносного бассейна, связанные с отложениями верхнего тортона. Зоны максимальной продуктивности обычно приурочены к куполовидным поднятиям. По литологическому составу серосодержащих пород выделяются два основных типа руд: известняковый (наиболее распространенный) и глинистый. Сера залегает в виде неправильных гнезд, прожилков и прослойков и всегда сопровождается кальцитом. В известняковых рудах сера представлена тремя основными разновидностями: тонковкрапленной, скрытокристаллической и крупнокристаллической; преобладает тонковкрапленная сера. Руды содержат примеси битумов, свинца, ванадия, меди и циркония.

Продуктивные породы залегают на глубинах от 30 до 350 м, и половина всех разведанных запасов может быть отработана открытым способом. Кровлей руд являются водонепроницаемые глины, почвой – водонепроницаемые гипсо-ангидриты. Судя по природным условиям, вероятно, возможна отработка нижних горизонтов месторождений методом Фраша.

В месторождениях Поволжья сероносные горизонты приурочены к толще конхиферовых слоев, представленных битуминозными известняками, гипсами, ангидритами, мергелями, доломитами и зелеными глинами. Гнезда, скопления, линзы и пластообразные залежи серы заключены преимущественно в битуминозных известняках. Сера постоянно ассоциирует с кальцитом, часто образует конкреции с кальцитом и гипсом и нередко сопровождается волокнистым целестином.

В Средней Азии месторождения серы приурочены к отложениям верхней юры (кимеридж – титон), представленных известняками, гипсами и ангидритами. Серные залежи линзовидной, пластообразной или гнездовой формы, представляющие собой в различной степени осерненные темные трещиноватые известняки, залегают в низах гипсовой толщи титона, местами на самом контакте ее с подстилающими известняками на глубине не более 150 м. К верхней части этой толщи приурочены залежи каменной и калийной солей. Серные руды отличаются высоким качеством. Наиболее значительным является *Гаурдакское* месторождение, расположенное в Туркменской ССР. Серосодержащие известняки

залегают на глубине 80–300 м, мощность их колеблется от 2 до 50 м. Месторождение разрабатывается подземным способом.

АЛМАЗЫ

Около 99% мировых (без СССР) ресурсов алмазов и подавляющая часть их добычи сосредоточены в южной половине Африки, где разрабатываются многочисленные коренные и россыпные месторождения. Большинство их образовалось в течение кайнозойской эры, причем процесс накопления алмазов в россыпях продолжается и в настоящее время.

До сравнительно недавнего времени основное значение в добыче алмазов имели современные третичные, преимущественно аллювиальные россыпи. Доля их в мировой добыче прежде превышала 90%, но за последние годы заметно снизилась в связи с истощением многих россыпей и открытием богатых коренных месторождений.

Единственными достоверно установленными коренными источниками алмазов являются кимберлиты, впервые обнаруженные в 1870 г. у Ягерсфонтейна в Оранжевой провинции ЮАР. Позднее, в 1879 г., трубка была открыта в районе Кимберли, откуда кимберлиты получили свое название. В настоящее время уже известны сотни кимберлитовых трубок, а также ассоциирующих с ними и сходных по составу дайкоподобных образований, распространенных на огромной площади. Они установлены не только в Африке, но и в США, Бразилии, Индии, на о-ве Калимантан, а также в ряде восточных районов Советского Союза.

Кимберлитовые трубки связаны с крупными разломами платформенных участков. Обычно они располагаются группами, приуроченными к протяженным трещинам. Иногда трубки постепенно переходят в дайки или приобретают дайкоподобные ответвления. Известны случаи, когда небольшие дайки внедряются в породу трубки, но не выходят за ее пределы.

Для даек весьма характерна большая протяженность (до нескольких километров) при сравнительно небольшой мощности (до нескольких метров). Размеры трубок в поперечнике обычно колеблются от 15 до 330 м, но встречаются и более крупные трубки; например, трубка Премьер в ЮАР представляет собой овал длиной 880 м при ширине 500 м, длина трубки Мваманга в Танганьике достигает 750 м, а трубка Талала в Конго занимает площадь в 50 га. Глубина разработок на отдельных трубках достигает 500 м. Контакт между трубками и вмещающими породами резкий и часто совпадает с дизъюнктивными нарушениями.

Далеко не все кимберлитовые трубки содержат алмазы в промышленных концентрациях. В Африке удельный вес продуктивных трубок не превышает 10%. В разрабатываемых трубках среднее содержание алмазов в руде составляет примерно 0,5 кар, в верхних горизонтах оно часто повышается до 3 кар. Дайки кимберлитов обычно отличаются более бедным содержанием алмазов и чаще, чем трубки, оказываются безрудными.

По петрографическому составу и текстурным особенностям ким-

берлиты представляют собой ультраосновную породу щелочного ряда, обладающую порфировой структурой. Среди них принято выделять два основных типа – базальтовый и слюдяной, между которыми существует ряд переходных разностей.

К базальтовому типу кимберлитов относится порода, в которой порфировые выделения размером до 1 см (в поперечнике) представлены главным образом оливином (от 50 до 75% породы) и более редкими кристаллами диопсида, энстатита, флогопита, граната и ильменита. Основная масса, в которую они погружены, состоит из агрегата серпентина и кальцита с примесью халцедона, пренита, цеолитов и многочисленных мелких включений биотита, перовскита, хромита, апатита и магнетита. Кроме того, кимберлиты этого типа содержат обильные обломки пород различных размеров, нередко до крупных глыб, особенно широко представленных в верхних горизонтах.

Кимберлиты слюдяного типа, развитые главным образом в дайках, слагаются корродированными кристаллами измененного оливина и флогопита, погруженными в основную массу, которая состоит из серпентина и кальцита и переполнена чешуйками слюды, зернами авгита, апатита, перовскита и железистых минералов.

Верхние горизонты кимберлитов интенсивно окислены и изменены. Вблизи от поверхности они превращены в так называемую „желтую землю", распространенную до глубины 12–35 м. Ниже „желтая земля" постепенно сменяется „мягкой синей землей", с глубиной переходящей в так называемый „хардебанк"; последний представляет собой малоизмененный кимберлит, который, однако, более или менее легко рассыпается. Трубки такого строения обычно приурочены к пониженным участкам рельефа.

Алмазы встречаются в виде хорошо образованных кристаллов или обломков, часто ограниченных плоскостями отдельности. Обнаруженный в трубке Премьер самый крупный в мире алмаз Куллинан массой 3025, 5 кар или 622 г является лишь частью расколотого по спайности большого октаэдрического кристалла. Этот обломок имел размеры 10 х х 6,5 х 5 см. Внутри алмазов иногда наблюдаются включения граната, диопсида, магнетита, циркона или графита.

Относительно происхождения алмазов существует много гипотез, но большинство исследователей придерживаются точки зрения, согласно которой алмаз – это составная часть кимберлита, и кристаллизация его, начавшаяся еще в магме, продолжалась в процессе ее извержения и затвердевания.

На основании взаимоотношения кимберлитовых трубок Африки с вмещающими породами образование их относилось к самым верхам мела – низам эоцена, а абсолютный их возраст, определенный гелиевым методом, оказался равным 51–58 млн. лет. Исходя из этого, можно считать, что почти все ресурсы алмазов богатейшей в мире Африканской провинции почти целиком относятся к кайнозойской эпохе рудообразования.

Достоверные сведения об общих и доказанных запасах алмазов в

Африке отсутствуют. По-видимому, они превышают 600–700 млн. кар. В 1980 г. в странах континента добыто 33,9 млн. кар, из них 8,4 млн. кар ювелирных камней.

Крупные ресурсы алмазов, преимущественно технических, сосредоточены в Любилашской провинции, названной по одноименной свите песчаников и конгломератов и занимающей значительную площадь в пределах Заира и Анголы.

Особенно богат алмазами З а и р, который по размерам добычи продолжительное время занимает первое место в мире. Алмазы в Заире были открыты в 1907 г., но вследствие их низкого качества эксплуатация в основном началась лишь в 1920 г., когда появился спрос на технические алмазы. Более 90% всей добычи алмазов (всего добыто более 520 млн. кар) приходится на россыпные месторождения, сосредоточенные в пределах площади *Лубилаш*, в районе г. Мбужи-Майи (Бакванга), где разрабатываются наряду с россыпями кимберлитовые трубки и вторичные кимберлитовые брекчии, образовавшиеся в карстовых полостях. Содержание алмазов в них достигает 6–10 кар на 1 $м^3$ породы. Добываемые в россыпях алмазы представлены почти исключительно техническими сортами, преимущественно крошкой-бортом.

На площади *Касаи*, в районе г. Чикапа, алмазы добываются из россыпей, в которых среднее содержание алмазов около 0,5 кар/$м^3$, и на двух кимберлитовых трубках, содержащих в среднем 0,24 кар/$м^3$.

Прогнозные ресурсы алмазов в стране оцениваются примерно в 500 млн. кар. В 1980 г. добыто 14 млн. кар, их них только 700 тыс. кар ювелирных камней.

Добываются в основном (95%) технические алмазы, и поэтому, несмотря на то что доля страны в суммарной добыче алмазов в капиталистическом мире достигает 40%, в ценностном выражении ее продукция составляет менее 10%.

Второе место в Африке по добыче алмазов и первое по их ценности (в связи с преобладанием ювелирных камней) занимает Ю А Р, где коренные и россыпные месторождения алмазов распространены на огромной площади в пределах Трансвааля, Капской и Оранжевой провинций.

Месторождения интенсивно эксплуатировались в последней четверти XIX в. и в первые три десятилетия XX в., когда ЮАР играла ведущую роль в мировой добыче алмазов. Истощение большинства россыпных месторождений и обеднение кимберлитов алмазами с глубиной наряду с усилением спроса на более дешевые технические алмазы, добываемые в странах Центральной Африки, привели к ослаблению роли ЮАР как поставщика алмазов. Еще в 1929 г. на долю ЮАР приходилось более 50% мировой добычи алмазов; накануне второй мировой войны (1937–1938 гг.) ее доля упала до 10–11%, а в годы войны – до 1–1,5%. В настоящее время удельный вес ЮАР в общей добыче алмазов в африканских странах превышает 25%, и в ценностном выражении добываемая продукция составляет более 60%.

Основные запасы и добыча алмазов сосредоточены в коренных мес-

торождениях. За все время эксплуатации из коренных и россыпных месторождений ЮАР добыто более 350 млн. кар, в том числе 85 млн. кар на руднике *Премьер*, где глубина разработок достигла 500 м. Оставшиеся запасы алмазов оцениваются в 110 млн. кар. Годовая добыча алмазов сохраняется на уровне 2 млн. кар при среднем их содержании 0,28 кар/т. Более крупная добыча (2,5 млн. кар) обеспечивается за счет разработки трубки *Финш*, расположенной в Капской провинции. В добываемых рудах среднее содержание алмазов составляет 0,71 кар/т. Разрабатываются также несколько трубок в районе г. *Кимберли* и трубка *Коффифонтейн* в Оранжевой провинции. Наиболее интересны алмазоносные россыпи прибрежно-морского происхождения, разрабатываемые в Намаквaленде. Среднее содержание в них алмазов составляет 0,25–0,55 кар/м^3 породы.

Большой интерес вызвал крупный алмаз, обнаруженный в 1978 г. на руднике Премьер, получивший название Большая роза. Камень, весивший в необработанном виде 72 г, после огранки стал весить 27,4 г.

Прогнозные ресурсы алмазов страны оцениваются в 230 – 250 млн. кар. В 1980 г. в стране добыто 8700 тыс. кар алмазов, из них ювелирных – 4000 тыс. кар.

В Гане известны только россыпные промышленные месторождения алмазов, сосредоточенные преимущественно в бассейне р. Бирим, где они располагаются вдоль контакта пород биримской серии и изверженных пород. Наиболее значительные концентрации алмазов встречаются в долинах речек, размывающих древние латеритизированные галечники или террасы крупных рек. Содержание алмазов в россыпях высокое: в среднем 0,4–0,5 г на 1 м^3 породы. Прогнозные ресурсы алмазов в стране оцениваются в 60 млн. кар. В 1980 г. добыто 1100 тыс. кар (в 1975 г. – 2328 тыс. кар), из них ювелирных только 160 тыс. кар (233 тыс.). В добываемой продукции преобладают мелкие алмазы весом 0,04–0,05 кар.

Значительные россыпи алмазов развиты на территории Намибии, преимущественно вдоль берега Атлантического океана, от устья р. Оранжевой до границы с Анголой. Здесь широко распространены третичные морские террасы, поднятые над уровнем моря на высоту до 150 м, а также четвертичные аллювиальные и элювиальные россыпи. В ряде мест алмазы извлекались из эоловых песков, в которых содержание алмазов иногда настолько велико, что они становятся заметными на глаз. Известно много кимберлитовых трубок, но разрабатываются только аллювиальные и морские пляжевые и террасовые россыпи с содержанием 0,41 кар на 1 м^3 породы. Удельный вес ювелирных камней составляет примерно 70–80%; средний вес алмазов равен 1,07 кар. В 1980 г. добыто 1560 тыс. т, из них 296 кг ювелирных.

Видное место в добыче алмазов в прошлом занимала Ангола (2 млн. кар в год). Основные месторождения алмазов, представленные древними террасовыми россыпями, расположены в бассейне р. Касаи, на южном продолжении алмазоносной площади Заира. Среди добываемых здесь алмазов, в отличие от алмазов Заира, преобладали

ювелирные сорта (около 90%). Средняя масса одного алмаза составляла примерно 0,72 кар. На 1 м^3 породы приходилось 0,4 кар. Прогнозные ресурсы алмазов оцениваются в 70 млн. кар. В 1980 г. добыто 1500 тыс. кар алмазов, из них ювелирных – 375 тыс. кар.

Крупным поставщиком алмазов стала Ботсвана, где добыча их возросла с 544 тыс. кар в 1970 г. до 5100 тыс. кар в 1980 г. и соответственно ювелирных алмазов с 60 тыс. до 755 тыс. кар. Вся добыча обеспечивается за счет разработки кимберлитовой трубки Орапа, открытой в 1966 г. в центральной части пустыни Калахари. В добываемой руде среднее содержание алмазов составляет около 0,7 кар на 1 т. В 1977 г. введен в эксплуатацию рудник Летлакан, в общей добыче которого доля ювелирных алмазов достигает 40%. Прогнозные ресурсы алмазов в стране оцениваются в 200 млн. кар.

Основные алмазоносные россыпи Сьерра-Леоне расположены в северо-восточной части страны, где разрабатываются русловые и террасовые россыпи современной речной сети. Отдельные россыпи отличались исключительно высоким содержанием алмазов, достигающим 60 г на 1 м^3 породы, но они уже выработаны, и в ныне разрабатываемых россыпях содержание алмазов составляет около 0,2 г/м^3. Всего за время эксплуатации добыто примерно 50 млн. кар. В последнее время добыча неизменно снижается – с 1707 тыс. кар в 1974 г. до 600 тыс. кар в 1980 г. и соответственно ювелирных камней с 680 тыс. до 240 тыс. кар. Прогнозные ресурсы алмазов страны с учетом разведуемых кимберлитовых трубок оцениваются в 35 млн. кар.

В Танзании почти единственным источником добычи алмазов является кимберлитовая трубка *Мвадуи*. Запасы алмазов в ней до глубины 100 м оценивались в 50 млн. кар при содержании 0,5 кар на 1 м^3 породы. В 1980 г. добыто 350 тыс. кар алмазов, из них ювелирных 170 тыс. кар. Оставшиеся запасы алмазов трубки Мвадуи оцениваются в 25 тыс. кар. В Гвинее разрабатываемые россыпи сосредоточены преимущественно в бассейне верхнего течения р. Моа. Месторождения алмазов известны также в ряде других стран Африки, но ввиду незначительных размеров они существенного значения в общих запасах и добыче не имеют.

Высоким качеством алмазов отличается рудник *Летсенг-ла-Терай*, недавно введенный в эксплуатацию в Лесото. С середины 1977 г. здесь добыто более 100 алмазов массой свыше 4 г, а до этого старателям удалось обнаружить алмазы массой 105,4 и 120,2 г. Добытые руды характеризуются низким содержанием алмазов (3,45 кар на 100 т руды); к тому же они расположены на высоте 3200 м над уровнем моря, что усложняет их разработку.

За пределами Африканского континента коренные источники алмазов кайнозойского возраста неизвестны. В Бразилии, Венесуэле, Гайане, Индонезии (Калимантан) и СССР разрабатываются россыпи древней и современной речной сети, но источниками питания этих россыпей были месторождения более древних эпох рудообразования.

К кайнозою относятся многочисленные, но преимущественно сравнительно небольшие месторождения хризотил-асбеста и амфибол-асбеста, распространенные в ряде стран Северной и Южной Америки, Азии и Европы.

В США (штат Калифорния) месторождения хризотил-асбеста *Коперполис, Коалинга, Напа* приурочены к серпентинизированным дунитам и перидотитам. В последнее время они обеспечивают большую часть добычи асбеста в стране. В Калифорнии и в других штатах известны также месторождения амфибол-асбеста, общие запасы которого составляют 140 тыс. т волокна. Разрабатывается только одно месторождение антофиллит-асбеста, расположенное в штате Джорджия.

Несколько месторождений хризотил-асбеста в последние годы разведано и подготавливается к разработке в Мексике. Подготавливается к разработке месторождение *Куикатеала* в районе Новилло-Аройя (штат Тамаулипас), доказанные запасы руд которого составляют 6 млн.т при содержании 10–12% коротковолокнистого асбеста. Проектная производительность предприятия определена в 54 тыс. т асбестового волокна. По предварительным данным, более крупным (100–110 млн. т руды) представляется разведуемое месторождение в штате Оахака. Общие запасы хризотил-асбеста Мексики на начало 1980 г. составляют 1360 тыс. т.

Небольшие месторождения хризотил-асбеста, приуроченные к кайнозойским серпентинитам, разведаны в Колумбии (общие запасы волокна 390 тыс. т), Аргентине (300 тыс. т), Венесуэле (30 тыс. т) и месторождения крокидолита в Боливии (27 тыс. т).

В зарубежных странах Азии наиболее широко и разнообразно проявлена кайнозойская асбестовая минерализация в Японии, где разрабатываются небольшие месторождения хризотил-асбеста на о. Хоккайдо и юго-западе о. Хонсю, а также месторождения тремолита и актинолита на о. Кюсю. Общие запасы хризотил-асбеста оцениваются в 500 тыс. т и амфибол-асбеста в 100 тыс. т. Годовое производство асбестового волокна не превышает 10 тыс. т.

Более крупным производителем хризотил-асбеста (до 40 тыс. т волокна в год) является Кипр. Месторождения его расположены в горах Троодос, где они приурочены к серпентинизированным перидотитам олигоцена и представлены жилами поперечноволокнистого хризотил-асбеста сетчатого и мелкопрожилкового типов. Общие их запасы составляют 450 тыс. т волокна. Известны небольшие месторождения антофиллит-асбеста.

Из других стран Азии проявления кайнозойской асбестовой минерализации известны в Турции, Южной Корее и на Филиппинах.

В Западной Европе единственный источник добычи хризотил-асбеста – месторождение *Балладжеро*, расположенное в Альпах Италии в районе Турина. Асбест месторождения поперечноволокнистый, содер-

жание его в рудах составляет около 3%, а извлекаемое содержание – 1,5–2%. Общие запасы асбестового волокна месторождения оцениваются в 1 млн. т, а годовое производство его в 1980 г. достигло 158 тыс.т.

В районе Турина известны также месторождения тремолит-асбеста, который отличается большой кислотоупорностью, но используется пока в небольших размерах; запасы его не подсчитаны.

В последнее время крупное месторождение хризотил-асбеста *Зидани* разведано и подготавливается к разработке в Г р е ц и и (Северная Македония). Общие запасы руд месторождения оцениваются в 54,3 млн.т при среднем содержании волокна 3,65%. Проектная производительность предприятия определена в 100 тыс. т волокна преимущественно 5–7 сортов.

Месторождения асбеста Италии и Греции предположительно отнесены к кайнозою, хотя не исключен их позднемезозойский возраст.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей монографии применен исторический подход к определению закономерностей формирования и размещения мировой минерально-сырьевой базы в ходе геологического развития земной коры от архея до кайнозоя включительно. Примерно распределены по геологическим эрам и континентам достоверные запасы важнейших полезных ископаемых капиталистических и развивающихся стран (см. табл. 2 и 4–7). Поскольку сведения о запасах полезных ископаемых этих стран в большинстве случаев официально не публикуются, они определены по разрозненным литературным данным и являются весьма ориентировочными, произведено также (в качестве более достоверного показателя) распределение мировой добычи минерального сырья по возрасту эксплуатируемых месторождений (табл. 8).

Приведенное распределение ресурсов минерального сырья во времени и пространстве не является полным отражением объективной действительности и в значительной мере находится в зависимости от состояния геологической изученности отдельных районов. По мере развития поисковых и разведочных работ вносятся существенные коррективы в размещение минерально-сырьевых баз и познаются новые закономерности их образования.

В последнее время, например, резко изменились представления о возрастном распределении мировых ресурсов нефти и газа в связи с открытием мезозойских месторождений в Сибири, Саудовской Аравии и Кувейте. Вполне вероятно, что дальнейшие изменения в этом отношении будут обусловлены результатами поисковых и разведочных работ на нефть и газ, особенно в Западной и Восточной Сибири, Средней и Юго-Восточной Азии, Африке, Латинской Америке, Австралии и Океании. Эти регионы еще слабо геологически изучены, и вероятность выявления на их территориях новых минерально-сырьевых баз очень высока. Об этом убедительно свидетельствуют результаты геологических исследований последних лет: открытие месторождений нефти и газа в Сибири, Северном море, арктической зоне Северной Америки и Мексике, железных руд, бокситов, урана и марганца в Австралии, меди и молибдена в Латинской Америке, меди и никеля в Восточной Сибири. Открытия сделаны также в некоторых, казалось бы, хорошо геологически изученных районах. Так, крупнейшее месторождение природного газа выявлено в Нидерландах, значительные ресурсы меди, свинца, цинка, молибдена и урана установлены в Северной Америке, бокситов – в европейской части СССР, меди – в Венгрии.

При рассмотрении приведенных в монографии данных следует также учесть, что сравнительно редко встречаются месторождения, особенно эндогенные и метаморфогенные, для которых на основании взаимоотношения руд с вмещающими породами удается достоверно опре-

Таблица 8

Распределение доказанных запасов и добычи (производства) важнейших видов минерального сырья в развитых капиталистических и развивающихся странах по эпохам рудообразования

Полезные ископаемые	Всего		Докембрий		Ранний палеозой		Поздний палеозой		Мезозой		Кайнозой	
	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча	Запасы	Добыча
Нефть, млрд. т	75,2	2,08	–	–	2,2	0,15	3,7	0,30	50,2	1,14	19,1	0,49
Газ, млрд. $м^3$	49709	1016	–	–	869	81	8928	268	18461	342	21451	325
Уголь, млрд. т	774	1,73	–	–	–	–	582	1,21	38	0,20	154	0,32
Уран*, тыс. т	1832	43,98	1040	22,61	1	0,10	211	6,71	257	7,30	323	7,26
Железные руды, млн. т	89440	545,23	72230	441,93	3800	20,08	3760	3,97	4280	38,48	5370	40,77
Марганцевые руды, млн. т	2324	12,65	2076	9,91	–	–	23	0,72	–	–	225	2,02
Хромовые руды*, млн. т	3406	5,90	3347	4,81	–	–	3	0,03	–	–	56	1,06
Алюминий (бокситы), млн. т	13500	73,27	–	–	–	–	–	–	795	5,58	12705	67,69
Медь, млн. т	385,2	6,38	116,1	2,42	2,8	0,07	4,1	0,07	16,7	0,50	245,5	3,32
Никель, тыс. т	35869	492,1	12089	269,1	10	0,5	–	–	600	–	23170	222,5
Кобальт, тыс. т	1513	27,29	947	20,39	–	–	–	–	–	–	566	6,90
Свинец, млн. т	101,8	2,36	24,0	0,77	5,4	0,05	49,1	0,63	6,7	0,39	16,6	0,52
Цинк, млн. т	143,7	4,38	40,8	1,62	3,6	0,04	60,2	1,11	13,5	0,64	25,6	0,97
Олово, тыс. т	3172	195,18	539	18,12	–	–	372	17,64	1797	127,68	464	31,81
Вольфрам, тыс. т WO_3	1214	32,61	33	1,79	15	2,10	178	3,19	635	9,77	353	11,26
Молибден, тыс. т	6492	95,95	125	0,17	–	–	–	–	445	14,91	5922	80,87
Ртуть*, тыс. т	111	4,32	1	0,10	–	–	53	1,92	–	–	57	2,30
Сурьма*, тыс. т	1929	36,92	77	1,15	–	–	30	0,70	550	13,36	1272	21,72
Фосфориты и апатиты, млн. т	27661	102,73	318	3,24	602	0,22	2750	8,04	2771	12,71	21220	78,52
Калийные соли*, млн. т K_2O	15330	15,69	–	–	–	–	14360	9,62	10	–	960	6,07
Плавиковый шпат, млн. т	385,4	3,20	147,0	0,52	2,5	0,06	120,5	0,90	44,2	0,51	71,2	1,21
Самородная сера, млн. т	318,7	8,71	–	–	–	–	–	–	–	–	318,7	8,71
Асбест*, млн. т	77,4	2,21	29,5	0,72	39,0	1,16	1,0	0,03	–	–	7,9	0,31

* Даны общие запасы.

делить время их формирования. Во многих случаях устанавливается лишь нижний или верхний возрастной предел оруденения, а часто и такая возможность отсутствует. К тому же в отношении генезиса многих месторождений полезных ископаемых (рудоносные конгломераты, медистые песчаники, стратиформные полиметаллические руды и др.), занимающих большой удельный вес в мировых запасах и добыче, существуют резко противоположные точки зрения, и в связи с этим вопрос о возрасте месторождений также остается спорным. Решению этого вопроса далеко не всегда способствуют результаты определения абсолютного возраста пород и руд, которые часто дают неоднозначные решения и не согласуются с общегеологическими данными. Поэтому, несмотря на значительные исследования, проведенные по анализу геологических позиций зарубежных и отечественных месторождений полезных ископаемых, время образования многих из них не удалось установить с точностью до эпохи или даже периода, и в отношении возраста таких месторождений пришлось ограничиться рамками геологической эры.

При всех указанных трудностях, объективных и субъективных недостатках, связанных с обобщением обширного, но нередко противоречивого материала, изложенные в монографии выводы о закономерностях размещения промышленных месторождений полезных ископаемых во времени и пространстве являются достаточно обоснованными и несомненно должны учитываться при направлении поисковых работ.

Каждой из рассматриваемых геологических эр присущи свои специфические черты рудообразования, обычно весьма различно проявленные на разных континентах. Одни генетические типы месторождений характерны только для одной геологической эры, другие же образовывались на всем протяжении геологической истории развития Земли. Характерно, что количественное распределение минеральных ресурсов по геологическим эрам резко непропорционально их продолжительности. Так, месторождения мезозойской эры, занимающей немногим более 4% времени в неологической истории развития Земли, и кайнозойской эры, занимающей только 2%, обеспечивают всю мировую добычу алмазов и самородной серы, а также большую часть добычи олова, молибдена, вольфрама, бокситов, нефти, газа, сурьмы, фосфатного сырья, марганцевых руд, меди и никеля. Примерно такой же удельный вес мезо-кайнозойских месторождений в мировых разведанных запасах этих полезных ископаемых.

При обобщении и сравнительном анализе накопленных геологических материалов по современному размещению промышленных месторождений полезных ископаемых привлекает внимание закономерное изменение во времени удельных значений их генетических типов. Так, в докембрии преобладают месторождения глубинного происхождения, генетически связанные с основными и ультраосновными интрузиями; широко развиты пегматиты, особенно мусковитовые и редкоземельные, образование которых происходило на больших глубинах. Редко встречаются гидротермальные месторождения, причем руды их иногда содержат силикаты, свидетельствующие о высоких температурах и относи-

тельно больших глубинах формирования. Отсутствуют докембрийские месторождения ртути и сурьмы, образование которых происходит на малых глубинах и в близповерхностных условиях, и почти не имеют практического значения редкие проявления вольфрамового и молибденового оруденения, а также оловянного, связанного с кварцевыми жилами или грейзенами. Сравнительно редко встречаются медноколчеданные руды в вулканогенных образованиях спилито-кератофировой формации и месторождения самородной меди в основных эффузивах.

Вероятно, в более поздних эпохах рудообразования возникли месторождения плавикового шпата Южно-Африканской Республики, Бразилии и Индии, отнесенные нами пока условно к докембрию. С большей долей достоверности определен докембрийский возраст промышленных месторождений хризотил-асбеста, приуроченных к серпентинизированным доломитам, а также месторождений амозита и крокидолита, приуроченных к яшмовидным железистым кварцитам.

Докембрийские экзогенные месторождения представлены преимущественно интенсивно метаморфизованными морскими осадками и гипергенными образованиями, формирование которых в течение длительного времени протекало в устойчивых физико-химических и климатических условиях. Они заключают бóльшую часть мировых запасов железа, золота, урана, меди и кобальта.

В докембрии не было достаточно благоприятных условий для образования промышленных месторождений нефти и газа (если исходить из органической теории их происхождения), а также угля и горючих сланцев, хотя следы существования органического мира установлены в докембрийских первичных осадочных отложениях. Архейские кристаллические сланцы и гнейсы несомненно осадочного происхождения часто содержат в переменных, иногда и значительных количествах графит, а среди протерозойских отложений широко развиты углистые сланцы и встречаются прослои слабо графитизированных углей типа шунгитов. За счет бокситов, как уже отмечалось выше, образовались высокоглиноземистые кристаллические сланцы. Месторождения фосфоритов сравнительно редки и приурочены к отложениям позднего докембрия. В более древних отложениях обычно развит апатит, редко образующий промышленные концентрации. Отсутствуют месторождения калийных солей.

Для докембрийских промышленных месторождений весьма характерны крупные масштабы минерализации, комплексный состав руд и высокое содержание полезных компонентов.

Мнение о том, что продуктивная докембрийская эндогенная минерализация связана только с протерозойскими магматическими комплексами, тогда как рудоносность архея крайне скудна, ошибочно, что необоснованно ограничивает районы поисковых работ. Достаточно напомнить, что архейские эндогенные месторождения заключают крупнейшие расурсы платины, хромитов и титаномагнетитов в Южной Африке, высококачественного мусковита в Индии и почти все мировые месторождения флогопита.

При современном состоянии геологической изученности наибольшей продуктивностью характеризуется докембрий Южной Африки, Канады и Австралии. В Южной Африке к докембрийскому возрасту относятся уникальные концентрации золота и урана в конгломератах Витватерсранда, меди и кобальта в песчаниках, хромитов, платины и титаномагнетитов, генетически связанных с породами Бушвелдского комплекса и Великой дайки, хризотил-амозит-крокидолит-асбеста в связи с ультраосновными интрузиями и серпентинизированными доломитами. В пределах Канадского щита в докембрии образовались крупнейшие в мире месторождения урана в конгломератах Блайнд-Ривер, сульфидных медно-никелевых руд Садбери, полиметаллических руд Сулливана, самородной меди Верхнего озера и криолита Ивигтут.

В Австралии к докембрию относятся крупнейшие месторождения железных руд бассейна Хамерсли, полиметаллических руд Брокен-Хилл, Маунт-Айза, урана Джабилука, Рейнджер, сульфидных медно-никелевых руд Камбалда и др. Исключительно интересны для поисков аналогичных месторождений районы развития докембрия в СССР, которые в геологическом отношении изучены пока еще совершенно недостаточно. Эти районы представляются также весьма перспективными для выявления гипергенных месторождений марганца, бокситов и продуктов их преобразования.

Менее обильной сравнительно с другими эпохами развития земной коры представляется рудоносность нижнего палеозоя. В районах развития нижнепалеозойской складчатости широко развиты интрузии основных и ультраосновных пород, в генетической связи с которыми известны крупные промышленные месторождения асбеста и многочисленные рудопроявления никеля, кобальта, хромитов и платины, редко представляющие практический интерес. Небольшим масштабом оруденения характеризуются медно колчеданные, полиметаллические и золоторудные месторождения. Промышленное значение имеют редкометалльные пегматиты, но в отличие от докембрия отсутствуют их мусковитовые и редкоземельные разности, а также месторождения флогопита. Встречаются сравнительно небольшие контактово-метасоматические месторождения железных руд и впервые в истории развития земной коры появляются месторождения штокверковых молибденовых и медных руд.

В нижнем палеозое резко изменяется характер экзогенных процессов рудообразования. Возникают промышленные месторождения горючих сланцев, нефти, газа, бокситов и калийных солей. Более широко развиты фосфоритоносные отложения; вместо распространенных в докембрии железистых кварцитов формируются месторождения оолитовых железных руд преимущественно шамозит-гематитового состава.

Наиболее важное экономическое значение имеют месторождения асбеста Канады, условно отнесенные к нижнему палеозою, нефтяные месторождения Северо-Американской и Африканской платформ, Прибалтийский бассейн горючих сланцев, фосфориты Каратау, бокситы КНР, оолитовые шамозит-гематитовые руды Канады, редкометалльные пегма-

титы Аппалачей в США, штокверковые молибденовые руды и ниобий- и апатитсодержащие карбонатиты Восточной Сибири.

Удельный вес нижнепалеозойских месторождений в мировых разведанных запасах и добыче важнейших видов минерального сырья, если не считать асбеста, измеряется десятыми долями или единицами процента.

Вместе с тем следует иметь в виду, что районы каледонской складчатости в СССР изучены недостаточно, и в их пределах могут быть выявлены промышленные месторождения, особенно в связи с интрузиями основных и ультраосновных пород, внедрение которых относится к начальным этапам развития подвижных зон. Большой интерес для поисков промышленных месторождений хромитов, титана, никеля, меди, кобальта и асбеста представляют районы южного обрамления Сибирской платформы. Перспективными являются также районы развития нижнепалеозойских щелочных пород, с которыми связаны апатито-ниобиевые карбонатиты.

Среди эндогенных месторождений верхнего палеозоя заметно возрастает удельный вес контактово-метасоматических и гидротермальных генетических типов, а также редкометалльных пегматитов. Большое развитие приобретают месторождения колчеданных руд меди, свинца и цинка, медно-порфировых и стратиформных полиметаллических руд. Сравнительно широко распространены гидротермальные, преимущественно жильные месторождения золота, олова (кварц-касситеритового типа), вольфрама, молибдена и урана. Впервые в истории развития земной коры появляются промышленные месторождения плавикового шпата, ртути и сурьмы. В связи с основными и ультраосновными интрузиями известны промышленные месторождения хромитов, асбеста и платиноидов и вместе с тем практически отсутствуют сульфидные медно-никелевые месторождения. Встречается промышленное кобальтовое оруденение в форме метасоматических жильных зон.

Большое развитие приобретают угленосные, соленосные, бокситоносные и нефтегазоносные отложения. Известны крупные месторождения медистых песчаников и фосфоритов.

Бóльшая часть ресурсов минерального сырья, заключенных в месторождениях позднепалеозойского возраста, сосредоточена в пределах северных континентов и главным образом в Евразии. Особенно интенсивно процессы эндогенного и экзогенного рудообразования проявились в ряде районов Советского Союза (Русская платформа, Урал, Алтай, Казахстан, Средняя Азия), которые в связи с этим занимают видное место в минерально-сырьевой базе страны.

Судя по результатам геологических исследований последних лет, перспективы этих районов далеко не ограничиваются известными месторождениями, и дальнейшие поисковые работы несомненно приведут к открытию новых месторождений.

В отличие от более древних геологических эр для мезозоя не характерны собственно магматические, контактово-метасоматические и скарновые месторождения. Резко преобладают гидротермальные месторожде-

ния, особенно олова (преимущественно сульфидно-касситеритового типа), вольфрама, молибдена, сурьмы и плавикового шпата, образованные в условиях средних и малых глубин и умеренных температур. Характерна их парагенетическая связь с малыми интрузиями и вулканогенными образованиями и почти постоянная приуроченность к крупным разломам и сопряженным с ними зонам тектонических нарушений. Редко встречаются редкометальные пегматиты. Большой практический интерес представляют платформенные месторождения алмазов, сульфидных медно-никелевых руд, ниобий- и апатитсодержащих карбонатитов и гидротермальных магномагнетитовых руд.

Большинство экзогенных мезозойских месторождений железных руд образовалось в платформенных условиях и представляет собой морские прибрежные осадки, распространенные на больших площадях. Сравнительно широко развита мезозойская кора выветривания, с которой связаны силикатные месторождения никеля и кобальта, железных руд и бокситов. В мезозое, особенно в Азии, существовали исключительно благоприятные климатические условия и тектонический режим для формирования угленосных отложений. Мировое значение имеют платформенные месторождения нефти. Характерно также для мезозоя, главным образом для верхней юры и мела, широкое распространение фосфоритов. Редко встречаются промышленные месторождения калийных солей.

Подавляющая часть мезозойских месторождений сосредоточена в Азии, меньше распространены они в Северной Америке и Европе и сравнительно редко встречаются на континентах Южного полушария.

В пределах СССР мезозойский магматизм и связанная с ним разнообразная эндогенная промышленная минерализация особенно широко проявились в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, где выявлены месторождения олова, вольфрама, молибдена, меди, никеля, свинца и цинка, плавикового шпата. Эти районы продолжают оставаться перспективными для поисков промышленных месторождений мезозойского возраста.

Специфическими особенностями кайнозойских эндогенных месторождений являются их поверхностное или близповерхностное формирование, тесная пространственная ассоциация с эффузивными и субвулканическими породами или гипабиссальными малыми интрузиями, широкое развитие телескопированных руд и гипогенной концентрической зональности, комплексный многокомпонентный состав, а также тесная ассоциация минеральных комплексов резко различной температуры образования. Формирование подавляющего большинства месторождений обусловлено постмагматическими гидротермальными процессами или фумарольной деятельностью, проявленными преимущественно в платформенных условиях. Решающее значение в образовании и размещении месторождений полезных ископаемых имели глубокие протяженные разломы, которые сопровождались излияниями лав. К ним тяготеют и гипабиссальные интрузии, представленные обычно сериями даек и штоков разнообразного состава. Сравнительно редко встречаются собственно магматические (хромитовые) и контактово-метасоматические (желе-

зорудные) месторождения. Отсутствуют месторождения пегматитов, промышленное значение приобретают бериллийсодержащие гидротермально измененные туфы. Весьма характерны крупные месторождения меднопорфировых, молибденовых, эпитермальных золото-серебряных и собственно серебряных руд; месторождения олова представлены в основном сульфидно-касситеритовыми рудами.

Среди экзогенных месторождений большую роль приобретают россыпи различных металлов и алмазов, а также бокситы и силикатные руды никеля, кобальта и железа, связанные с кайнозойской корой выветривания. Специфическими образованиями кайнозоя являются осадочные и вулканогенные месторождения самородной серы, заключающие все ее мировые ресурсы.

Кайнозойская магматическая деятельность особенно продуктивно проявилась в Кордильерах, где с нею генетически связаны крупнейшие месторождения меди, молибдена, олова, а также многочисленные месторождения свинца, цинка, золота, серебра, ртути.

В минеральных ресурсах Советского Союза удельный вес кайнозойских месторождений значительно меньший, чем в капиталистических и развивающихся странах, но они также играют заметную роль в экономике страны. Например, они обеспечивают бóльшую часть мировой добычи марганца и имеют существенное значение в общесоюзной добыче железных руд, олова, молибдена, титана, циркония, серы, калийных солей, угля и др.

При рассмотрении данных о современном распределении мировых ресурсов полезных ископаемых по основным структурным элементам земной коры прежде всего обращает на себя внимание исключительно высокая продуктивность месторождений, формирование которых происходило в платформенных условиях. К ним относится большинство докембрийских месторождений, которые заключают значительную часть разведанных запасов железных и хромитовых руд, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, золота, урана, асбеста и флогопита. Больше того, в пределах докембрийских платформ весьма широко и интенсивно проявилось эндогенное и экзогенное рудообразование более поздних эпох. Эти процессы привели, например, к формированию Хибинских месторождений нефелино-апатитовых руд на Кольском полуострове, медно-никелевых сульфидных руд Норильского района, всех мировых месторождений редкометалльных карбонатитов и кимберлитовых алмазоносных трубок, месторождений марганца Украины и Габона, бокситов Африки, Австралии и Южной Америки и многих других месторождений.

Большое значение для формирования промышленных месторождений полезных ископаемых имели тектонические движения, интенсивно проявленные в древних платформах в позднем мезозое и кайнозое. При этих новых этапах омоложения древних платформ одновременно с высокой подвижностью, которую приобрели ранее „стабильные" участки, исключительно интенсивно проявилась преимущественно гипабиссальная интрузивная и эффузивная деятельность и сопровождающие их

процессы рудообразования. В таких своеобразных платформенных условиях образовались крупнейшие гидротермальные и контактово-метасоматические месторождения олова, вольфрама, молибдена, а также многочисленные месторождения свинца, цинка, сурьмы и ртути на территории КНР. Проявленные здесь в верхнем мезозое интенсивные тектонические движения (яньшанские), разнообразная экструзивная и интрузивная магматическая деятельность и процессы рудообразования отчетливо приурочены к крупным разломам докембрийской платформы, а развитие примыкающих к ним участков происходило в условиях, близких к геосинклинальным. В геосинклинальных условиях, вероятно, образовались докембрийские пегматиты, в которых заключены все мировые запасы мусковита и значительные запасы бериллия, лития, ниобия, тантала и редких земель.

Весьма характерен для всех древних платформенных областей высокий удельный вес крупных и уникальных месторождений полезных ископаемых. К ним относятся наиболее значительные месторождения железных руд (формация железистых кварцитов), титаномагнетитов (месторождения Южно-Африканской Республики, Танзании и др.), хромитов (месторождения Зимбабве и Южно-Африканской Республики), меди (медистые песчаники Катанга-Родезийского пояса в Африке), свинца и цинка (Сулливан в Канаде, Брокен-Хилл в Австралии), никеля и кобальта (Садбери и Томпсон в Канаде), золота и урана (Витватерсранд в Южно-Африканской Республике и Блайнд-Ривер в Канаде), мусковита (месторождения Индии) и флогопита (СССР).

Особенное значение древние платформы и щиты имеют для развития минерально-сырьевой базы Советского Союза, где они занимают значительную часть территории страны, которая в геологическом отношении изучена еще недостаточно. Характерно, что большинство наиболее интересных открытий за послевоенные годы представлено месторождениями, формирование которых происходило в платформенных условиях. К ним относятся коренные месторождения алмазов Якутии, богатые залежи железных руд и бокситов Курской магнитной аномалии, медистые песчаники Удокана, полиметаллические руды Горевского и Холоднинского месторождений и медно-никелевые – Талнахского и Октябрьского месторождений, ниобий- и апатитсодержащие карбонатиты Белозиминского месторождения и ряд других. При проведении дальнейших поисковых работ на Русской и Сибирской платформах особое внимание должно быть уделено поискам метаморфогенных месторождений марганца и промышленных руд хромитов, весьма характерных для древних платформ зарубежных стран. При этом следует отметить, что в ряде районов развития докембрийских пород в СССР установлены проявления хромитов, марганца, медноколчеданных руд, асбеста, а также обнаружены древние конгломераты.

До настоящего времени еще не выявлены промышленные месторождения бокситов докембрийского возраста, хотя благоприятные условия для их образования несомненно существовали в то время. За счет глубокого метаморфизма бокситов или бокситоподобных по-

род образовались широко распространенные в Индии, а также известные в Южной Якутии месторождения корунда и кианита, приуроченные к архейским гнейсам и кристаллическим сланцам. Не исключено, что среди менее метаморфизованных докембрийских образований могут быть встречены неизмененные бокситы, тем более что в течение весьма продолжительной докембрийской стадии развития Земли несомненно существовали континентальные перерывы в осадконакоплении и благоприятные климатические условия для формирования коры латеритного выветривания. В частности, в пределах Канадского щита кора выветривания установлена под гуронскими образованиями, а в пределах Балтийского щита под ятулийскими отложениями. С докембрийской корой выветривания помимо бокситов могут быть связаны крупные месторождения силикатного никеля и кобальта. Поскольку промышленные месторождения бокситов, приуроченные к кайнозойской коре выветривания докембрийских пород, широко распространены в странах Южного полушария, можно предполагать, что в пределах Северного полушария в палеозое также существовали условия для формирования аналогичной коры выветривания докембрийских пород. Об этом, например, свидетельствуют обнаруженные в последнее время многочисленные проявления бокситов, приуроченные к коре выветривания протерозойских пород в районах Курской магнитной аномалии, на севере европейской части Советского Союза и в Бразилии.

Большой интерес представляют и молодые платформы, где также широко проявились эндогенные и главным образом экзогенные процессы рудообразования. Так, в последние годы на Западно-Сибирской эпигерцинской платформе выявлены крупнейшие залежи оолитовых железных руд и нефтегазоносный бассейн.

Большинство эндогенных месторождений палеозоя формировалось в геосинклинальных условиях, и хотя одновременное или близкое по времени развитие отдельных подвижных областей проявилось различно, все же намечаются и общие сходные черты их минерагении. Так, для всех районов нижнепалеозойской складчатости характерны промышленные месторождения, образование которых происходило преимущественно в связи с магматизмом начальных и ранних этапов развития подвижных зон, сравнительно редко встречаются месторождения средних этапов и крайне редки месторождения поздних и конечных этапов. Для некоторых районов, в частности тех из них, которые окаймляют Сибирскую платформу с юга, сравнительную бедность нижнего палеозоя можно объяснить тем, что каледониды здесь отличаются незавершенной складчатостью и конечные стадии развития подвижных зон, с которыми обычно связаны наиболее интенсивные процессы эндогенного рудообразования, не проявились в достаточной мере. Однако и в районах, где каледонский цикл был завершающим (Северо-Западная Европа), также отмечается лишь слабое проявление рудной минерализации, обусловленное преимущественно магматизмом начальных и ранних этапов геосинклинального развития.

Верхний палеозой в отличие от нижнего характеризуется более бо-

гатым и разнообразным комплексом эндогенных месторождений. Наряду с месторождениями ранних и средних этапов развития подвижных зон (месторождения редкометалльных пегматитов, колчеданных руд меди, свинца и цинка, контактово-метасоматических железных руд и др.), характерными для всех областей верхнепалеозойской складчатости, в ряде районов широко развиты также месторождения поздних и конечных этапов. Так, в период консолидации складчатых структур и перехода к платформенной стадии развития Джунгаро-Балхашской области проявились наиболее интересные в практическом отношении процессы рудообразования, в частности образовались месторождения меднопорфировых руд, метасоматических и жильных полиметаллических руд, плавикового шпата и других полезных ископаемых.

Размещение верхнепалеозойских месторождений определялось в основном складчатыми движениями, в меньшей степени – разрывными.

Среди экзогенных месторождений палеозоя, наряду с платформенными и собственно геосинклинальными образованиями, большое значение приобретают месторождения поздних и конечных этапов (орогенная стадия) развития областей завершенной складчатости (месторождения каменного угля, калийных солей и медистых песчаников).

Для мезозоя и кайнозоя характерны эндогенные месторождения, образование которых происходило в платформенных условиях или в условиях, переходных от платформенного режима к геосинклинальному и от геосинклинального к платформенному, когда основную роль в формировании месторождений и их размещении играли глубинные разломы земной коры и связанные с ними протяженные зоны тектонических нарушений, распространяющиеся иногда далеко за пределы отдельных подвижных зон. Весьма характерны в этом отношении пояса распространения меднопорфировых и молибденовых месторождений Тихоокеанского побережья Северной и Южной Америки, в которых сосредоточена большая часть мировых запасов этих металлов.

Большой интерес представляют также и менее протяженные разломы, становление которых происходило в несколько фаз. Они служили путями проникновения магматических масс и рудных растворов в течение ряда геологических эпох. Так, крупный разлом в районе Кер д'Ален в США строго контролирует размещение месторождений полиметаллических руд, образование которых происходило от докембрия до кайнозоя. В последнее время аналогичное мнение сложилось у ряда канадских геологов относительно формирования уникального полиметаллического месторождения Сулливан. Они предполагают, что́ на месторождении проявились два этапа минерализации – в позднем докембрии и в позднем мелу или в раннем палеогене, и этим, возможно, объясняется сочетание в рудах двух комплексов минералов резко различной температуры образования.

Линейное расположение месторождений и отдельных рудных узлов вблизи крупных разрывных тектонических нарушений, которые нередко прослеживаются на сотни километров, отчетливо выражено во многих районах. К наиболее крупным зонам тектонических нарушений

обычно приурочены разновременные проявления интрузивной и эффузивной деятельности, которые свидетельствуют о связи с глубокими расколами коры, а также о весьма длительном существовании этих разломов и неоднократном их подновлении.

Наиболее часто рудные месторождения локализуются не в самых крупных разрывных нарушениях, а в сопряженных с ними трещинах второго или более мелких порядков. Такие разрывные нарушения иногда приурочены к контактам разновозрастных или различных по литологическому и петрографическому составу пород.

Различаются две группы крупных тектонических дизъюнктивных нарушений. К первой группе относятся разрывные нарушения, тесно связанные со складкообразующими движениями и проявившиеся, по-видимому, непосредственно вслед за ними; ко второй группе – разрывные нарушения, наложенные на складчатые структуры. Для этих нарушений характерна приуроченность к ним эффузивов и резко гипабиссальных малых интрузий, обычно представленных штоками и дайками чрезвычайно пестрого, преимущественно кислого и среднего состава.

Весьма характерна многоэтапность в образовании малых интрузий, которая отмечается во всех районах их проявления. За исключением сравнительно редких отклонений, в комплексе малых интрузий наблюдается закономерная последовательная смена разновидностей основного и среднего состава кислыми и щелочными разностями. Независимо от минерального состава малые интрузии обладают порфировой структурой и часто неотличимы от эффузивных аналогов.

Структурные взаимоотношения пород дайкового комплекса с рудными телами, совместная приуроченность к единым системам дизъюнктивных нарушений и их постоянная тесная пространственная связь позволяют предполагать, что эти образования обусловлены единым магматическим источником, из которого по глубоким расколам земной коры в близповерхностные зоны повышенной трещиноватости поступали вначале инъекции интрузивного материала, а затем, после его раскристаллизации, по тем же ослабленным путям и рудоносные растворы.

Экзогенные месторождения мезозоя и кайнозоя образовались в основном в платформенных условиях. На южных континентах, начиная с конца мезозоя, создались исключительно благоприятные условия для латеритного выветривания силикатных пород, которые привели к образованию крупнейших месторождений бокситов, никеля и кобальта.

При сравнительном анализе минерагении геологических эр достаточно отчетливо устанавливается постепенное уменьшение от докембрия до кайнозоя удельного значения эндогенных месторождений, формирование которых происходит на сравнительно больших глубинах, и соответственное увеличение роли месторождений средних и малых глубин. Эта закономерность весьма характерно проявляется в размещении во времени различных типов пегматитов: развитие наиболее глубинных их разновидностей (редкоземельных и мусковитовых) в докембрии, менее глубинных (редкометалльных) в палеозое и раннем мезозое и отсутствие их в позднем мезозое и кайнозое. Вместе с тем, начиная с докем-

брия, наблюдается непрерывный рост удельного веса гидротермальных месторождений при одновременном увеличении роли низкотемпературных и близповерхностных их разновидностей. Обращает на себя внимание и то, что промышленные месторождения собственно плавиковошпатовых руд, ртути и сурьмы впервые появляются только в конце позднего палеозоя, коренные месторождения алмазов – в мезозое и месторождения вулканогенных руд серы – в кайнозое. При этом кайнозойская эра в отличие от других геологических эр характеризуется наиболее разнообразным комплексом полезных ископаемых, подавляющее большинство месторождений которых формировалось в близповерхностных условиях.

Такое закономерное изменение характера оруденения по времени, вероятно, не только связано со специфическими условиями формирования месторождений в различных районах и геологических периодах развития Земли, но и обусловлено глубиной эрозионного среза. Вероятно, докембрийские и палеозойские месторождения средних и малых глубин, к которым относится большинство гидротермальных месторождений, в значительной части были эродированы.

Известно, что даже наиболее глубинные разновидности гидротермальных образований – месторождения олова, вольфрама и молибдена – обычно приурочены к апикальным частям интрузий и пространственно ассоциируют с гипабиссальными штоками и дайками. Достоверно установлено, что наиболее благоприятны для локализации оловянно-вольфрамового оруденения касситерит-кварцевой и вольфрамит-кварцевой формаций купола гранитных интрузий, еще не обнаженные на поверхности, и что одним из надежных поисковых признаков служат дайки сиенитов и граносиенитов. Если же районы развития таких месторождений непосредственно после их образования не были перекрыты толщей осадочных или вулканогенных пород, т. е. не были в достаточной степени захоронены и, следовательно, подвергались эрозии, то естественно, что при этом были уничтожены и месторождения.

Вполне допустимо, что в геосинклинальных областях, особенно домезозойских, где обнажаются глубинные фации изверженных пород, занимающие при современном эрозионном срезе огромные площади, промышленные гидротермальные месторождения, даже в том случае, если они и были первоначально образованы, не могли сохраниться. Этим, возможно, наряду с другими геологическими факторами и объясняется резкое различие металлогении складчатых областей не только различного возраста, но и одновозрастных; в частности, отличие Урала, где доминируют собственно магматические, контактово-метасоматические скарновые и медноколчеданные месторождения, от Джунгаро-Балхашской области, где развиты месторождения меднопорфировых руд, ртути и сурьмы.

О том, что в домезозойском этапе развития Земли, в том числе и в докембрийском, существовали месторождения малых глубин, убедительно свидетельствуют их многочисленные реликты, встречаемые почти во всех рудных районах. О возможном существовании докембрийских алмазоносных кимберлитовых трубок свидетельствуют находки

алмазов в архейских конгломератах Витватерсранда, промышленные концентрации их в нижних горизонтах конгломератов виндхийской системы верхнего протерозоя в Индии, а также в кембрийских конгломератах свиты лаврас в Бразилии. Вероятно, коренными источниками алмазов уральских россыпей явились кимберлитовые трубки верхнего палеозоя.

Постмагматические гидротермальные процессы проявлялись, вероятно, достаточно широко в докембрийское время, но связанные с ними месторождения полезных ископаемых были уничтожены последующими процессами эрозии. За счет их, по-видимому, образовались золотоносные и ураноносные конгломераты типа Витватерсранда и медистые песчаники Заира, Замбии и Восточной Сибири, аллювиальные оловоносные россыпи Бразилии (района Рондония). Не исключено, что среди докембрийских осадочно-метаморфических образований могут быть обнаружены древние россыпи и осадки, содержащие промышленные концентрации других весьма разнообразных металлов.

Исходя из этого, при проведении геологических исследований в пределах докембрийских щитов и платформ необходимо особенно тщательно изучать химический и минеральный состав осадочных комплексов, которые при обычном макроскопическом осмотре могут казаться безрудными. Не лишено оснований и предположение о том, что в мезозое и кайнозое более широко развиты месторождения, формирование которых происходит на значительных глубинах, но при современном эрозионном срезе рудные залежи еще не обнажились на поверхности. Вполне возможно, например, что редкоземельные и мусковитовые пегматиты, глубина формирования которых определяется примерно в 8000 м, образовывались не только в докембрии, но и в ходе более поздних стадий развития земной коры, и находятся на глубинах, еще не вскрытых эрозией.

Вопрос о роли эрозионного среза в современном размещении промышленных месторождений полезных ископаемых, особенно применительно к конкретным областям, не должен рассматриваться изолированно, без учета совокупности всех процессов и стадий геосинклинального и платформенного развития области в целом и ее структурно-фациальных зон в отдельности. Этот вопрос имеет не только научное, но и большое практическое значение и должен обязательно учитываться при направлении поисковых и разведочных работ.

За последние годы резко увеличилось количество научных исследований, направленных на выяснение закономерностей формирования и размещения месторождений полезных ископаемых. К сожалению, подавляющее большинство этих исследований касается вопросов эндогенного рудообразования и сравнительно мало уделяется внимания экзогенным месторождениям, хотя именно они заключают бóльшую часть мировых ресурсов минерального сырья. Из важнейших полезных ископаемых ресурсов восьми видов (угля, нефти, газа, марганцевых руд, бокситов, калийных солей, серы и фосфоритов) целиком заключены в осадочных месторождениях и месторождениях выветривания. Они же заключают

бóльшую часть мировых запасов железных руд, никеля, кобальта, олова, титана, алмазов, а также золота, урана и меди, если исходить из осадочного генезиса древних рудоносных конгломератов типа Витватерсранда и медистых песчаников. Значительный удельный вес в разведанных запасах и добыче свинца и цинка занимают месторождения типа долины Миссисипи, которые многими исследователями считаются осадочными.

Разведанные запасы остальных девяти полезных ископаемых (хромитов, вольфрама, молибдена, сурьмы, ртути, асбеста, плавикового шпата, слюды и апатита) почти целиком заключены в эндогенных месторождениях, хотя не исключена возможность обнаружения осадочных месторождений этих видов минерального сырья. Такой вывод, например, подтверждается открытием промышленных концентраций вольфрама в рассолах оз. Сёрлс в США и богатых россыпей хромита в Зимбабве, а также установлением концентраций молибдена в ряде месторождений угля, углистых и углисто-кремнистых сланцев Советского Союза и зарубежных стран.

В течение многих лет ведется дискуссия относительно генезиса золотоносных и урановосных конгломератов типа Витватерсранда и медистых песчаников, удельный вес которых в мировых запасах и добыче золота, урана, меди и кобальта значителен. Одни исследователи считают их осадочными, другие – гидротермальными, при этом один и тот же фактический материал служит основанием для резко различных выводов. В пользу осадочного происхождения рудоносных конгломератов и медистых песчаников убедительно свидетельствуют:

– распространение на значительных площадях, достигающих десятки тысяч квадратных километров, и исключительная выдержанность в пределах этих площадей рудных горизонтов даже в тех случаях, когда мощность их не превышает 10 см;

– однородный характер минерализации и постоянство ее состава на значительных расстояниях по вертикали и горизонтали;

– пластообразная форма рудных залежей, многоярусное их расположение при строгой приуроченности к стратиграфическим горизонтам, а также участие в строении складчатых структур согласно с вмещающими породами;

– ритмичное чередование рудных и безрудных прослоев (характерное для медистых песчаников) и отсутствие минерализации в некоторых горизонтах, благоприятных для проникновения гидротермальных растворов;

– отсутствие околорудных изменений боковых пород, более или менее отчетливо выраженных рудоподводящих каналов и пространственной связи с интрузивными породами, с которыми генетически или парагенетически может быть связано оруденение.

Процессы седиментации и выветривания в тех случаях, когда они протекали длительное время в устойчивых условиях, приводили к формированию крупнейших и даже уникальных месторождений, к которым, кроме рудоносных конгломератов и медистых песчаников, например, относятся:

– месторождения Кривого Рога и Курской магнитной аномалии в СССР, озера Верхнего в США и другие месторождения формации железистых кварцитов;

– Никопольское и Чиатурское месторождения марганцевых руд в СССР и Моанда в Габоне;

– латеритные бокситы Гвинеи, Австралии и других стран южных континентов;

– месторождения силикатных руд никеля и кобальта Кубы, Новой Каледонии, стран Латинской Америки и Юго-Восточной Азии;

– россыпи алмазов Касаи в Заире, олова на Малаккском полуострове, титана, циркония и монацита на морских побережьях Индии, Шри-Ланки и Австралии.

Список крупнейших экзогенных месторождений может быть значительно расширен, особенно если учесть месторождения неметаллических полезных ископаемых.

Огромное экономическое значение имеют кайнозойские россыпи различных минералов и латеритные руды никеля, кобальта, алюминия и железа. Можно уверенно считать, что и в более древних геологических эрах, особенно в докембрии, существовали благоприятные условия для образования аналогичных месторождений, и поиски их среди древних толщ представляются весьма актуальными.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

Докембрийская эпоха рудообразования 13

Уран (24). Железо (35). Титан, ванадий (64). Марганец (69). Хром (73). Алюминий (высокоглиноземное сырье) (75). Медь, никель, кобальт (79). Свинец, цинк, серебро (108). Олово, вольфрам (118). Молибден (120). Бериллий, литий, тантал, ниобий (121). Редкоземельные элементы (135). Золото (136). Платиноиды (148). Фосфор (151). Фтор (154). Алмазы (156). Асбест (158). Мусковит (161). Флогопит (169)

Раннепалеозойская эпоха рудообразования 171

Нефть и газ (174). Горючие сланцы (177). Уран (178). Железо (179). Марганец (182). Хром (184). Алюминий (бокситы) (184). Медь (184). Никель, кобальт (186). Свинец, цинк, серебро (186). Олово, вольфрам (190). Молибден (190). Бериллий, литий, тантал, ниобий (193). Золото (193). Фосфор (194). Калийные соли (198). Фтор (199). Асбест (199)

Позднепалеозойская эпоха рудообразования 203

Нефть и газ (209). Уголь (220). Уран (233). Железо (237). Марганец (242). Хром (243). Титан (246). Алюминий (бокситы) (246). Медь (251). Никель, кобальт (261). Свинец, цинк, серебро (261). Олово, вольфрам (273). Молибден (278). Ртуть, сурьма (280). Бериллий, литий, тантал, ниобий (284). Золото (287). Фосфор (289). Калийные соли (292). Фтор (299). Алмазы (309). Асбест (307). Флогопит (309)

Мезозойская эпоха рудообразования 311

Нефть и газ (315). Уголь (331). Уран (336). Железо (343). Марганец (352). Хром (353). Алюминий (бокситы) (355). Медь (360). Никель, кобальт (364). Свинец, цинк, серебро (369). Олово, вольфрам (373). Молибден (387). Ртуть, сурьма (392). Бериллий, литий, тантал, ниобий (398). Золото (401). Фосфор (406). Калийные соли (410). Фтор (411). Алмазы (415)

Кайнозойская эпоха рудообразования 417

Нефть и газ (424). Уголь (440). Уран (444). Железо (450). Титан, цирконий (456). Марганец (460). Хром (464). Алюминий (бокситы) (466). Медь (475). Никель, кобальт (491). Свинец, цинк, серебро (495). Олово, вольфрам (510). Молибден (517). Ртуть, сурьма (520). Бериллий, литий, тантал, ниобий (528). Золото (530). Платиноиды (536). Фосфор (536). Калийные соли (543). Фтор (545). Самородная сера (548). Алмазы (553). Асбест (558).

Заключение 560

4434