



Н.А. БЫХОВЕР

ГЕОЛОГО-
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ПРОГНОЗА
МИНЕРАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ

Н. А. БЫХОВЕР

553.042

ГЕОЛОГО-
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
ПРОГНОЗА
МИНЕРАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ

3318



МОСКВА «НЕДРА» 1978



Быховер Н. А. Геолого-экономические основы прогноза минеральных ресурсов. М., «Недра», 1978. 232 с.

В книге приведена геолого-экономическая оценка промышленных типов месторождений важнейших полезных ископаемых и охарактеризованы геологические позиции и горнотехнические условия разработки крупнейших месторождений, составляющих основу минерально-сырьевой базы мира. Показаны закономерности формирования и размещения этих месторождений. Дана сравнительная экономическая характеристика выделенных промышленных типов месторождений, описаны технико-экономические параметры. Изложены основные принципы и методы прогноза перспективной народнохозяйственной потребности в минеральном сырье и продуктах его переработки, прогноза развития горнодобывающей промышленности, прогноза основных направлений геологоразведочных работ и научно-технического прогресса в их производстве, оценки прогнозных запасов полезных ископаемых и их экономической значимости.

Книга рассчитана на работников научно-исследовательских и производственных геологических организаций, а также будет интересна для экономистов различных отраслей горной промышленности.

Табл. 16, ил. 65, список лит.— 38 назв.

В связи с научно-техническим прогрессом и необычайно ускоренным ростом мирового производства широкий размах во многих странах и в особенности в Советском Союзе приобрели исследования по долгосрочному прогнозированию развития важнейших отраслей промышленности. Естественно, что в качестве основы для таких разработок должны служить прогнозы минеральных ресурсов страны, поскольку современное развитие промышленности, транспорта и сельского хозяйства находится в значительной зависимости от степени их обеспеченности минеральным сырьем и продуктами его переработки. Использование минерального сырья стало возрастать ускоренными темпами, значительно опережая темпы роста населения. Так, численность населения земного шара за 1950—1974 гг. увеличилась с 2508 до 3940 млн. чел. (или на 56%), в том числе население СССР с 180 до 253 млн. чел. (на 40%), а потребление важнейших видов минерального сырья в мире и, соответственно, их добыча за эти годы возросли в 3—5 раз. Такой же примерно рост потребности в минеральном сырье ожидается в будущем, поскольку предполагается, что проявленные тенденции в его потреблении будут сохраняться в обозримой перспективе.

Советский Союз удовлетворяет свои потребности в минеральном сырье за счет собственных ресурсов. Прогноз долгосрочного развития и освоения минерально-сырьевой базы страны основывается как на прогнозе перспективной народнохозяйственной потребности в минеральном сырье и развития горнодобывающей промышленности, так и на оценке прогнозных запасов полезных ископаемых.

При этом важно учитывать, что при наличии в мире многих десятков тысяч разведанных промышленных месторождений основу минерально-сырьевой базы составляют лишь несколько сотен наиболее крупных и богатых из них. Именно эти месторождения играют ведущую роль в мировых разведанных запасах и добыче и являются наиболее рентабельными для промышленного освоения. В Советском Союзе к их числу относятся Уренгойское, Медвежье и Заполярное месторождения природного газа, Донецкий и Кузнецкий каменноугольные бассейны, Криворожский железорудный бассейн и Курская магнитная аномалия, Верхне-Камское месторождение калийных солей и др.

Велико значение крупных месторождений в разведанных запасах и добыче полезных ископаемых. Только 6% общего количества разведанных месторождений меди заключает 70% разведанных запасов этого металла, 8,3% месторождений — 69% запасов олова, 6% месторождений — 51% запасов свинца и 42% цинка, 9% месторождений — 76% запасов калийных солей, 12% месторождений — 63% запасов фосфоритов. Примерно такой же удельный вес эти месторождения занимают в общесоюзной добыче.

При современных и тем более при проектируемых на ближайшее время масштабах добычи минерального сырья небольшие и даже средние по размерам запасов месторождения не могут существенно влиять на состояние обеспеченности растущих потребностей народного хозяйства.

Разведка крупных месторождений обычно отличается и наиболее низкими удельными затратами на прирост разведанных запасов минерального сырья. Об этом свидетельствуют опубликованные в инструкциях ГКЗ СССР систематизированные данные о плотности сети разведочных выработок, применявшейся при разведке месторождений различных полезных ископаемых в Советском Союзе. Например, для подсчета запасов категории C_1 в крупных пластообразных и штокверковых залежах медных руд простой формы с равномерным распределением полезных компонентов принимаются расстояния между выработками 200—300 м, а для мелких линзообразных залежей 50—75 м.

Конечно, экономическая эффективность разведочных работ зависит не только от масштабов месторождений, но и от других природных факторов—условий залегания, морфологии залежей, качества сырья, транспортных и других условий, а также от методики и техники работ и хозяйственной деятельности геологоразведочной организации. Однако при прочих равных условиях масштаб месторождения имеет решающее значение для эффективности геологоразведочных работ. Например, средняя стоимость разведки 1 т балансовых запасов молибдена жильных месторождений, которые обычно характеризуются сравнительно небольшими масштабами, превышает стоимость разведки крупных штокверковых месторождений в 20 раз, хотя содержание металла в жильных рудах в несколько раз выше, чем в штокверковых. Примерно такое же влияние масштабы месторождения оказывают на себестоимость товарной продукции горнодобывающей промышленности. Себестоимость молибденовых концентратов из жильных месторождений в три раза превышает себестоимость концентратов из штокверковых руд.

Созданные на базе крупных месторождений предприятия обычно характеризуются более низкими капитальными затратами на единицу мощности и меньшими эксплуатационными расходами на единицу продукции. Расчеты показывают, что ожидаемая прибыль от эксплуатации нескольких разведанных крупных месторождений, как правило, окупает в течение одного года суммарные затраты на геологоразведочные работы на данное минеральное сырье в целом по стране примерно за пятилетний период.

ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВАЖНЕЙШИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

НЕФТЬ И ГАЗ

Ускоренный рост добычи и потребления нефти и газа стимулировал во всех перспективных районах мира широкое развитие поисковых и разведочных работ на эти виды сырья, благодаря этим исследованиям были открыты десятки тысяч месторождений и залежей и выявлены крупные нефтегазоносные районы.

По состоянию современной изученности около 20% мировых запасов нефти сосредоточено в отложениях палеозоя, 60% — в мезозое, 20% — в кайнозое. Запасы газа составляют соответственно 15, 75 и 10%.

В мире известно около 30 месторождений, промышленная нефтеносность которых приурочена к *докембрийским* изверженным и метаморфическим породам. На этих месторождениях добыто около 20 млн. т нефти. Бóльшая их часть находится в США.

Месторождения нефти *нижнепалеозойского* возраста разрабатываются только 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 Алжире и Ливии нефтегазоносен также весь разрез нижнепалеозойских отложений, все продуктивные горизонты представлены песчаниками. Мелкие месторождения нефти нижнепалеозойского возраста известны в Марокко. В целом в капиталистических и развивающихся странах достоверные запасы нижнепалеозойской нефти составляют несколько процентов от суммарных запасов.

В Советском Союзе до последнего времени в нижнем палеозое были известны лишь отдельные проявления нефти и газа — в кембрийских породах на северном склоне Алданского щита и на окраине Анабарского массива. Поисковыми работами последних лет в пределах Иркутского амфитеатра установлена промышленная нефтегазоносность отложений ангарской, усольской и мотской свит кембрия.

В *верхнепалеозойских* отложениях заключены значительные ресурсы нефти и газа, хотя их промышленные месторождения известны только в нескольких странах. Продуктивными являются платформенные прибрежно-морские и морские терригенные или карбонатные образования; по генезису залежи структурные, литологические и стратиграфические. Характерны пластовые сводовые залежи с весьма пологим падением крыльев.

В СССР промышленная нефтегазоносность установлена по всему разрезу верхнего палеозоя на огромной территории между Волгой и Уралом. Особенно интересны отложения девона, в которых заключены залежи Ромашкинского, Туймазинского, Бавлинского, Шкаповского и ряда других месторождений. Залежи нефти и газа выявлены в каменноугольных и пермских отложениях Днепровско-Донецкой впадины. Промышленные притоки нефти получены из девонских отложений юго-восточной части Белоруссии, где уже созданы нефтяные промыслы.

Вполне вероятно, что в верхнепалеозойских отложениях западных районов Русской платформы, в том числе и в Прибалтике, при дальнейших исследованиях будут обнаружены более значительные промышленные месторождения нефти и газа, чем ныне известные в этих регионах.

Широко распространены верхнепалеозойские нефтегазоносные отложения на Северо-Американской платформе. В США в пенсильванских (верхний отдел карбона) и пермских отложениях заключено около 40% запасов нефти страны. В Канаде нефтегазоносными являются более древние формации; основные месторождения приурочены к девонским и миссисипским отложениям (нижний отдел карбона), в которых заключено более 50% общих запасов нефти и газа страны.

Сравнительно небольшие месторождения нефти верхнепалеозойского возраста известны в Южной Америке — в Аргентине, Бразилии и Бразилии. Крупные месторождения нефти и газа выявлены в Северной Африке, на территории Алжира и Ливии, где наряду с нижнепалеозойскими отложениями продуктивны песчаные фации девона и карбона. Мелкие месторождения этого возраста известны также в АРЕ и Марокко.

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 северной части Нидерландов, вблизи границы с ФРГ.

Мировое значение имеют месторождения нефти и газа *мезозойского* возраста. Крупнейшие из них приурочены к восточной краевой части Аравийской платформы. Об исключительном богатстве этих месторождений можно судить по среднему суточному дебиту одной эксплуатационной скважины, которая в Саудовской Аравии составляет примерно 1465 т. Сравнительно небольшие месторождения нефти и газа связаны с мезозойскими отложениями северо-западного погружения Аравийской платформы.

Мезозойские нефтегазоносные отложения встречаются и в восточных районах Азии. В Китае они представлены осадками триаса и юры, развитыми в Джунгарской и Сычуаньской впадинах, а также в провинции Шаньси. Продуктивность юрских отложений установлена в Индонезии на о. Церам, меловых — на о. Новая Гвинея. В Японии и Монгольской Народной Республике известны месторождения мелового возраста. Во всех перечисленных районах Восточной Азии преобладают небольшие месторождения.

Широко распространены мезозойские нефтегазоносные отложения в Северной Америке. В Канаде к началу 1959 г. в них было заключено около 45% достоверных запасов нефти страны, в том числе 42% в меловых отложениях, 2% — в юрских и менее 1% — в триасовых. Продуктивными являются песчаные породы, иногда с прослоями глин, приуроченные преимущественно к прогибам, расположенным между Передовыми хребтами и Канадским щитом. Колоссальные запасы (от 15 до 45 млрд. т по различным оценкам) нефтяных битумов заключены в меловых песках района р. Атабаски.

Мезозойские месторождения заключают приблизительно 18% запасов нефти США, 14,1% их связаны с верхнемеловыми, 2,6% — с нижнемеловыми и 1,3% — с юрскими и триасовыми отложениями. Большая часть запасов, а также крупные ресурсы газа сосредоточены в терри-

генных отложениях Примексиканской впадины. Южная часть этой впадины расположена в Мексике, где основными продуктивными горизонтами являются карбонатные коллекторы мелового возраста.

В Южной Америке крупными источниками мезозойской нефти являются известняки нижнего мела района Маракайбо-Мара (Венесуэла). В других странах этого континента известны преимущественно мелкие месторождения, представленные меловыми, реже юрскими песчаными коллекторами.

Весьма перспективны мезозойские терригенные отложения в Северной Африке: в Алжире — песчаники триаса, в Ливии — песчаники триаса и верхнего мела.

Нефтегазоносность меловых терригенных и карбонатных отложений установлена на территории Египта, Анголы, Габона и Конго.

Многочисленные месторождения нефти и газа приурочены к мезозойским, преимущественно юрским и меловым отложениям Западной Европы. Преобладают мелкие малодобитные месторождения. Большое экономическое значение имеет месторождение Лак во Франции, общие запасы газа которого оцениваются в 200 млрд. м³.

В СССР в Предкавказье, Закавказье и Средней Азии продуктивными являются юрские и меловые терригенные и карбонатные отложения, в Урало-Эмбенском районе также и отложения пермо-триаса. Перспективы этих районов расширились в связи с открытием новых месторождений, особенно газа в Бухаро-Хивинской депрессии и нефти на Южном Мангышлаке.

Совсем недавно установлена промышленная нефтегазоносность юрских и меловых отложений Западно-Сибирской низменности, где к началу 1975 г. уже выявлено и разведано более 150 месторождений нефти и газа. Месторождения природного газа, приуроченные к песчано-глинистым отложениям нижней юры, открыты в Якутии, в районе сочленения Приверхоанского прогиба и Вилюйской синеклизы.

Почти все месторождения нефти мезозойского возраста образовались в платформенных условиях. Для них характерны литолого-стратиграфические и структурные залежи, приуроченные к пологим брахиантиклинальным и куполовидным поднятиям. В связи с ускоренным освоением источников нефти и газа Западной Сибири удельный вес мезозойских месторождений в общей мировой добыче этих полезных ископаемых заметно возрос в последнее время.

Значительные ресурсы нефти и газа заключены в *кайнозойских* месторождениях, распространенных преимущественно в районах проявления альпийской складчатости, как правило, в предгорных и межгорных впадинах. Крупнейшим нефтегазоносным бассейном такого типа является Месопотамская впадина (юго-западная часть Ирана и северная часть Ирака). Месторождения отличаются исключительно высокой продуктивностью, среднесуточный дебит скважин превышает 1000 т нефти.

Кайнозойские промышленные месторождения нефти и газа широко распространены и в других районах Азии. Это месторождения, приуроченные к впадинам — Иравадийской в Бирме, Индо-Гангской — в Пакистане, Ассамской — в Пакистане и Индии, Камбейской — в Индии, Джунгарской, Цзюцюаньской и Цайдамской — в Китае, а также месторождения Японии, Афганистана и Индонезии; во всех перечисленных месторождениях продуктивными являются исключительно терригенные отложения.

В месторождениях, связанных с кайнозойскими отложениями, сосредоточено более половины всех разведанных запасов нефти и газа стран Северной и Южной Америки. Крупнейшие из них находятся в США, в пределах Примексиканской впадины и межгорных впадин Калифорнии, и в Венесуэле, в бассейне оз. Маракайбо и Оринокской впадине. Нефтегазоносен в этих районах весь разрез третичных отложений, но наиболее высокой продуктивностью отличаются песчаники миоцена и олигоцена.

Многочисленные месторождения нефти и газа, относящиеся к различным стратиграфическим горизонтам палеогена и главным образом неогена, известны в Советском Союзе: в Карпатах, на Апшеронском полуострове, в Предкавказье, на Северном Кавказе, в Средней Азии и на Сахалине. К отложениям миоцена и плиоцена приурочены месторождения ряда стран Европы — Румынии, Польши, Чехословакии, Венгрии, Югославии, Австрии, ФРГ и Италии. В последнее время нефть установлена в третичных отложениях Африки — в Ливии и Габоне.

По расчетам С. А. Балиева (1974), к началу 1973 г. в капиталистических и развивающихся странах открыто свыше 26 400 месторождений нефти, в том числе 24 820 в Северной Америке, 566 в Латинской Америке, 268 в Западной Европе, 311 в Африке, 114 на Ближнем и Среднем Востоке, 349 в Южной и Юго-Восточной Азии и на Дальнем Востоке и 17 в Австралии и Океании.

Среди известных за рубежом месторождений нефти выделяются только 20, первоначально извлекаемые запасы которых 1000 млн. м³ и более*; суммарные запасы этих месторождений составляют 56,7 млрд. м³. Двенадцать из этих крупнейших месторождений приурочены к восточной краевой части Аравийской платформы, где нефтегазоносен весь разрез мезозоя; но наибольшей продуктивностью отличаются верхнеюрские органогенные, местами доломитизированные, трещиноватые известняки, а также пески и слабосцементированные песчаники верхнего мела. Месторождения относятся к платформенному типу, приурочены к пологим антиклинальным складкам, нередко осложненным локальными куполами. Суммарная мощность продуктивных горизонтов отдельных месторождений достигает 450 м, площадь их распространения нередко измеряется многими сотнями квадратных километров. Кроме того, четыре месторождения приурочены к примыкающей к Аравийской платформе Месопотамской предгорной впадине, охватывающей юго-западную часть Ирана и северную часть Ирака. Основные продуктивные горизонты общей мощностью 250 м сложены кавернозными и трещиноватыми известняками асмарийской свиты (олигоцен — нижний миоцен), собранными в пологие складки и залегающими на глубинах от 853 до 3353 м.

Наиболее крупным в зарубежном мире месторождением нефти является Гхавар в Саудовской Аравии, приурочено оно к антиклинальной структуре длиной 225 км при ширине от 16 до 25 км. Основные скопления нефти находятся в трещиноватых известняках так называемой аравийской зоны, среди которых выделяются четыре горизонта, разделенные пластами ангидрита. Почти все запасы нефти заключены в органогенных, местами доломитизированных, трещиноватых извест-

* Запасы нефти в данной работе приведены в тоннах и кубических метрах в соответствии с использованными литературными источниками.

нях горизонта Д, которые залегают на глубинах от 2042 до 2576 м. Эффективная мощность горизонта в среднем 40—45 м. Все скважины фонтанируют. Начальный их дебит колеблется от 750 до 1500 т/сут. С 1950 до 1969 г. здесь добыто 753 млн. м³ нефти (88,4 млн. м³ в 1968 г.); первоначально извлекаемые запасы нефти составляют 11 925 млн. м³.

К числу других месторождений в Саудовской Аравии, первоначально извлекаемые запасы нефти которых превышают 1000 млн. м³,

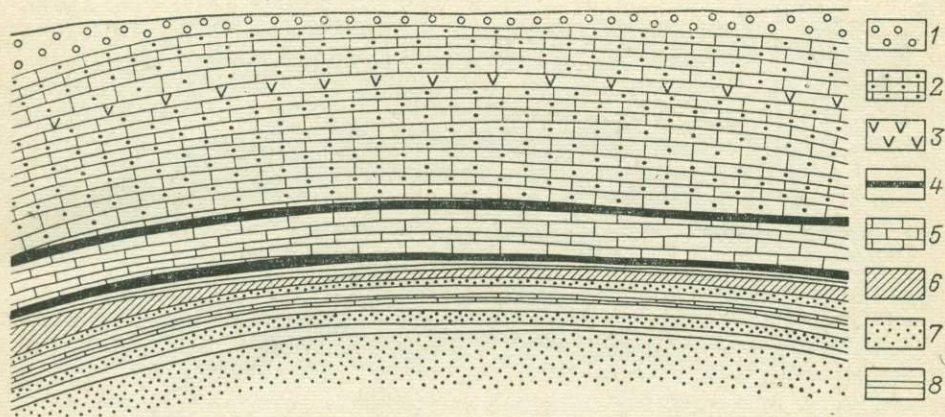


Рис. 1. Схематический разрез месторождения Бурган.

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)

относятся Абкаик (1908 млн. м³), Манифа (1749 млн. м³), Катиф (1431 млн. м³), Харсания и Абу-Сафак (по 1033,5 млн. м³) и Хураис (1017,6 млн. м³). Все они расположены на Аравийской платформе и представлены локальными антиклинальными структурами. 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 достигали 2000 т/сут. С 1941 до 1963 гг. здесь добыто 457,9 млн. м³ нефти (в 1968 г. — 31,13 млн. м³).

Второе место в зарубежном мире по количеству первоначально извлекаемых запасов нефти принадлежит двум месторождениям Кувейта — Бурган и Магва-Ахмади, приуроченным к единому поднятию, осложненному несколькими локальными куполами (рис. 1). 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, — 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 км², месторождения Магва-Ахмади — 420 км², средняя глубина залегания продуктивных горизонтов 1663 м. Первоначально

чально извлекаемые запасы нефти — 10 494 млн. м³. Промышленная нефть установлена здесь в 1938 г. и до 1969 г. добыто ее 1569 млн. м³ (в 1968 г. 138,33 млн. м³). Нефть содержит около 2% серы.

Третье место по первоначально извлекаемым запасам нефти среди зарубежных месторождений занимает месторождение Боливр-Коустал, приуроченное к восточному побережью оз. Маракайбо в Венесуэле. Протяженность месторождения превышает 75 км при ширине более 200 км (включая акваторию озера). Продуктивными являются песча-

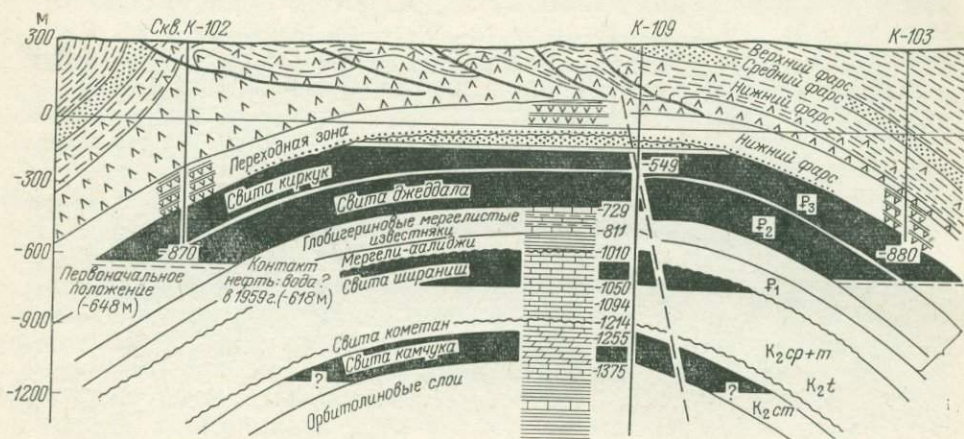


Рис. 2. Геологический разрез месторождения Киркук

ники миоцена, эоцена и плиоцена, залегающие на глубине 171—2571 м в форме стратиграфических и тектонически экранированных залежей. Первоначально извлекаемые запасы месторождения — 4770 млн. м³ нефти, из которых за 1917—1968 гг. добыто 2066,5 млн. м³ (в 1968 г. 95,4 млн. м³).

Крупнейшим морским месторождением является Сафания-Хафджи, приуроченное к шельфу Аравийской платформы вдоль побережья Саудовской Аравии и Нейтральной зоны. Месторождение представлено антиклинальной складкой, продуктивными являются песчаники мелового возраста, залегающие на глубине 1524—1676 м. Оно открыто в 1953 г. и до 1969 г. на нем добыто 281,4 млн. м³ нефти (в 1968 г. 41,15 млн. м³). Первоначально извлекаемые запасы нефти составляют 3975 млн. м³.

Богатейшее месторождение нефти Прудхо-Бей открыто в 1967 г. на севере Аляски в бассейне р. Колвилл. Продуктивные горизонты сложены триасовыми песчаниками, залегающими на глубине 2469—2652 м, меловыми и миссисипскими карбонатными породами, залегающими соответственно на глубинах 2062—2152 и 2652—3185 м. Первоначально извлекаемые запасы нефти составляют 3180 млн. м³.

К числу крупнейших в зарубежном мире относится месторождение Киркук, расположенное на севере Ирака в пределах Загросского складчатого пояса (рис. 2). Оно сложено известняками нижнего миоцена—олигоцена и эоцена, образующими антиклинальную складку длиной 100 км при ширине около 4 км. Глубина залегания продуктивных горизонтов колеблется от 853 до 1280 м при общей мощности продуктивной толщи калхур около 300 м. Месторождение открыто в 1927 г.,

к 1968 г. суммарная добыча нефти на нем достигла 704,37 млн. м³ (в 1968 г. 62,39 млн. м³). Первоначально извлекаемые запасы нефти месторождения — 2385 млн. м³.

Месторождением такого же масштаба является Румайла, открытое в 1953 г. в пределах Аравийской платформы. Оно также приурочено к антиклинальной складке, но в отличие от Киркука продуктивные отложения представлены здесь песчаниками мелового возраста, залегающими на глубине 3200—3292 м. Первоначально извлекаемые запасы нефти составляют 162,4 млн. м³, из которых до 1969 г. добыто 157,73 млн. м³ (в 1968 г. 15,53 млн. м³).

По размеру первоначально извлекаемых запасов нефти (1510 млн. м³) и исключительно высокой продуктивности нефтеносных отложений выделяется месторождение Ага-Джари, расположенное на территории Ирана и приуроченное к брахиантиклинальной складке длиной 50 км при ширине 8 км (рис. 3). Продуктивные горизонты сложены асмарийскими известняками, залегающими на глубинах от 1981 до 3353 м. Среднесуточный дебит скважин превышает 3000 т. К концу 1968 г. на месторождении добыто 593 млн. т нефти, при годовой добыче до 51 млн. т.

В Советском Союзе наиболее интересные месторождения расположены в Волго-Уральской (Ромашкинское) и Западно-Сибирской (Самотлорское) нефтегазоносных областях. Ромашкинское месторождение находится в южной части Татарского свода, в пределах крупного полого поднятия фундамента, к одному из прогибов которого оно и приурочено (рис. 4). Нефтеносными являются терригенные отложения верхней части среднего — нижней части верхнего девона. Основная залежь заключена в пашийских песчаных пластах, отделенных от ниже- и вышележащих горизонтов пачками глинистых пород.

Самотлорское месторождение (рис. 5) 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.

Крупные месторождения природного газа в зарубежных странах встречаются значительно реже, чем крупные месторождения нефти. Известно только четыре месторождения, первоначально извлекаемые запасы которых превышают 1000 млрд. м³ газа. К ним относится месторождение Слохтерн, открытое в Нидерландах в 1959 г. Газоносны песчаники пермского возраста, залегающие на глубине 2621—3261 м. Достоверные извлекаемые запасы газа, по последним данным, составляют 2492 млрд. м³, добыча его в 1972 г. достигла 60 млрд. м³. Средний суточный дебит скважин составляет 750 тыс. м³. Второе по величине запасов газа месторождение открыто в 1938 г. в Аравийско-Иранском бассейне. Оно приурочено к антиклинальной складке, в пределах которой продуктивными являются карбонатные породы олигоцен и миоцена, залегающие на глубине 1067—1829 м. Первоначально извлекаемые запасы газа — 1420 млрд. м³, конденсата — 127,2 млрд. м³.

Большое промышленное значение имеют нефтегазоносное месторождение Панхендл и месторождение природного газа Хьюгстон,

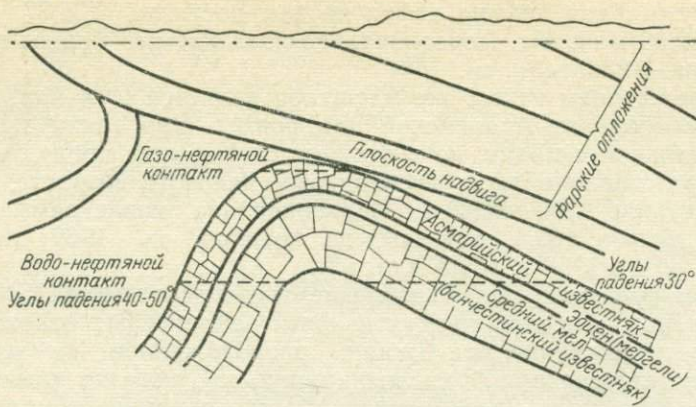


Рис. 3. Месторождение Ага-Джари

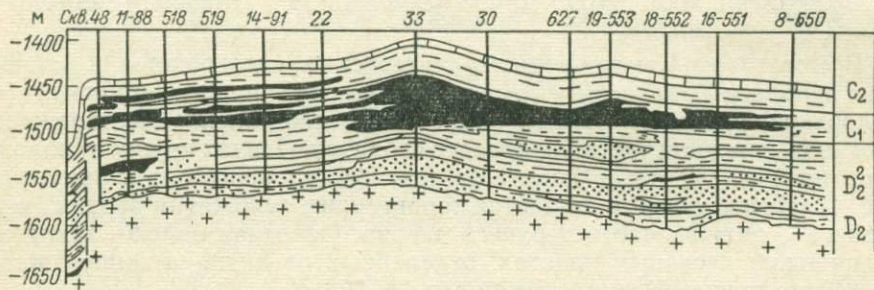


Рис. 4. Геологический разрез терригенной толщи девона Ромашкинского месторождения

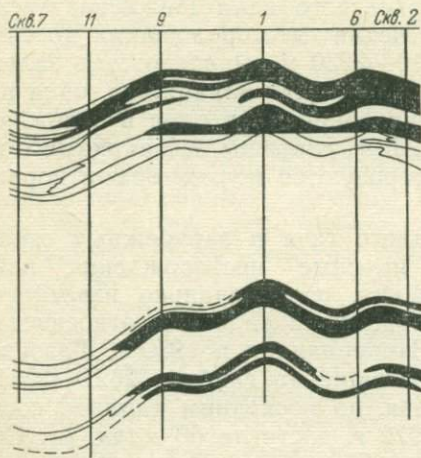


Рис. 5. Геологический разрез Самотлорского месторождения.

Черным цветом показана нефть

открытые в США в 1918 и 1926 гг. соответственно и интенсивно до настоящего времени разрабатываемые. Месторождение Панхендл находится на территории штатов Оклахома и Техас. Продуктивные его горизонты приурочены к нижнепермским и пенсильванским отложениям и прослеживаются на протяжении 200 км при средней ширине 20—25 км. Залежи газа заключены в песчаных и карбонатных коллекторах,

расположенных на глубине 442—1067 м. Этаж газоносности составляет около 400 м, начальные дебиты скважин достигают 1,5—3 млн. м³. Газовые залежи располагаются в сводовой части погребенного поднятия, залежи нефти — на его северо-восточном склоне. В последнее время залежи нефти и газа установлены также в миссисипских отложениях. Начальные запасы газа составляли около 1000 млрд. м³, нефти 260 млн. м³; примерно 600 млрд. м³ газа и более 200 млн. м³ нефти уже добыто.

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, из которых более 600 млрд. м³ уже извлечено. К весьма крупным месторождениям природного газа за рубежом относится также месторождение Хассир'Мель в Алжире. Продуктивные горизонты месторождения, представленные песчаниками триаса, залегают на глубине 2100—2250 м. Первоначальные извлекаемые запасы газа месторождения составляют 864 млрд. м³.

К началу 1973 г. в СССР насчитывалось 32 месторождения с первоначально извлекаемыми запасами более 100 млрд. м³ газа. Суммарные запасы газа этих месторождений составляют 17 678 млрд. м³, в том числе 10 825 млрд. м³ в пяти месторождениях — Уренгойском (3998 млрд. м³), Заполярном (2006 млрд. м³), Оренбургском (1653 млрд. м³), Ямбургском (1620 млрд. м³) и Медвежьем (1548 млрд. м³). Четыре из этих месторождений (кроме Оренбургского) сосредоточены в северной части Тюменской области. Основные продуктивные горизонты связаны с песчаниками, песками и алевролитами сеноманского возраста. Одно из них Уренгойское месторождение приурочено к локальной структуре площадью 140×50 км, в своде поднятия которой на глубине 1080 м залегают основной продуктивный горизонт мощностью до 218 м. Эффективная его мощность изменяется от 39 до 82 м, пористость от 25 до 40%, начальное пластовое давление составляло 119 кгс/см². На глубине 3015—3030 м в отложениях валанжина вскрыт второй продуктивный горизонт, также представленный песчаниками и алевролитами. При испытании их получен фонтан газа с конденсатом. Абсолютный свободный дебит газа составил 800 тыс. м³/сут; газоконденсатный фактор 200 см³/м³, пластовое давление 287,8 кгс/см².

Заполярное месторождение, приуроченное к одноименному локальному поднятию размером 24×55 км, 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. Сеноманская массивная залежь отличается высокими дебитами газа — 0,9—6,9 млн. м³/сут при пластовом давлении 133—135 кгс/см². Туронская пластовая залежь с возможным литологическим экраном вниз по падению характеризуется средними дебитами газа, достигающими 60 тыс. м³/сут, при пластовом давлении 21 кгс/см².

Ямбургское месторождение, приуроченное к локальному поднятию, размером 45×75 км представлено одной залежью газа на глубине 1070—1216 м. Газоносны сеноманские песчаники с прослоями алевролитов и глин. Залежь, массивная, высокодебитная (до 2,5 млн. м³/сут) с коллекторами порового типа. Высота ее около 150 м.

Медвежье месторождение (рис. 6) приурочено к структуре размером 120×26 км. Пластовая массивная залежь прослежена на площади

109×19 км при мощности 113 м, сложена горизонтом из переслаивающихся песчаников, алевролитов и глин, эффективная газонасыщенная мощность которого достигает 92,6 м; эффективная пористость изменяется от 27,2 до 32,5%. При испытании скважин получены фонтаны газа с дебитами от 32 до 4935 тыс. м³/сут.

Оренбургское газоконденсатное месторождение (рис. 7) приурочено к валобразному поднятию, прослеженному вдоль борта Прикаспийской впадины на протяжении около 120 км. Продуктивны карбонатные отло-

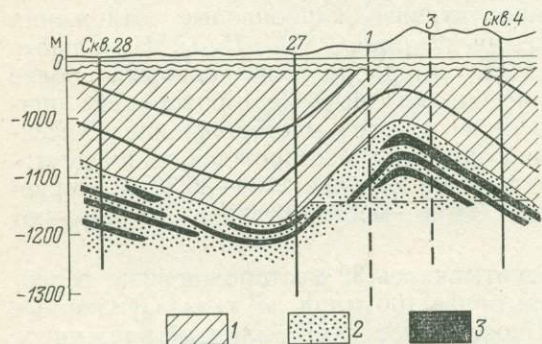
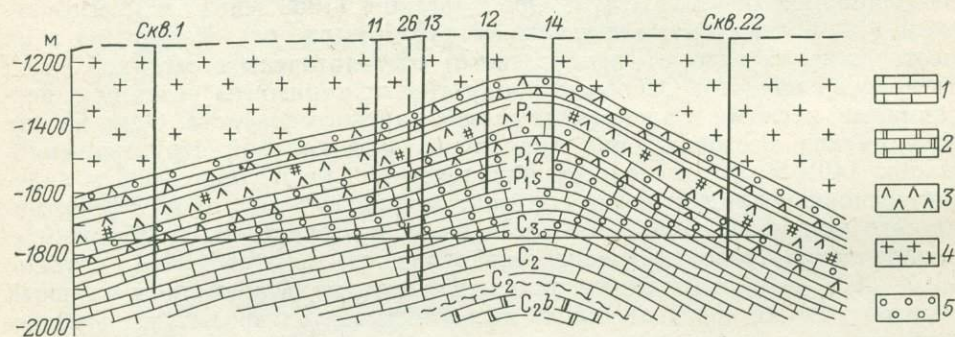


Рис. 6. Геологический разрез Медвежьего месторождения.

1 — глины; 2 — песчаники и пески; 3 — газ

Рис. 7. Геологический разрез Оренбургского месторождения.

1 — известняки; 2 — доломиты; 3 — ангидриты; 4 — каменная соль; 5 — газ



жения нижней перми, верхнего и среднего карбона, заключающие массивную газовую залежь высотой до 600 м. Она расположена на глубине 1600—1750 м, газ ее содержит 4,5% сероводорода и 60—75 см³/м³ конденсата.

УГОЛЬ

Как и нефть, уголь является одним из наиболее распространенных полезных ископаемых. Проявления угля установлены в осадочных отложениях, начиная с силура до неогена включительно. Однако промышленные месторождения углей известны, только начиная с каменноугольного возраста.

Более древние месторождения, обычно девонские, встречаются редко и отличаются небольшими размерами. В Советском Союзе 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.

Определены только геологические запасы девонских углей Кузнецкого бассейна, которые по оценке 1968 г. составляют 79 млн. т и представлены липтобиолитовыми разностями.

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. В результате метаморфизма нижнепалеозойских углей в ряде мест, в частности в Южной Корее, образовались значительные залежи аморфного графита.

Большая часть мировых ресурсов углей заключена в отложениях *верхнего палеозоя*, развитых главным образом на континентах северного полушария, между 30 и 60° с. ш. Крупнейшие ресурсы углей сосредоточены в отложениях карбона, к которым приурочены пользующиеся мировой известностью бассейны Европы (Великобританский, Рурский, Аахенский, Саарский, Бельгийский, Северо-Французский, Верхнесилезский, Донецкий) и Северной Америки (Аппалачский, Пенсильванский, Иллинойс, Мичиган, Техас). Угли карбонового возраста известны также в пределах Азиатского континента. К ним относятся бассейны Северо-Восточных провинций Китая, ряд месторождений Урала и Казахстана, а также нижние горизонты угленосных толщ Кузнецкого, Минусинского и Тунгусского бассейнов, которые ранее датировались пермью. Более широко в Азии распространены пермские угленосные отложения, к которым приурочены угли Кузнецкого, Минусинского, Тунгусского и Таймырского бассейнов, а также ряд крупных бассейнов Китая и Индии. Промышленные месторождения угля пермского возраста известны в Южной Африке и Австралии.

Верхнепалеозойские угленосные формации образовались в благоприятных устойчивых физико-географических и климатических условиях, отличаются большой мощностью (до 9000 м) и угленасыщенностью (до 100 и более угольных пластов) и исключительно высоким качеством углей. Большая часть угленосных отложений карбона образовалась в паралических условиях, между тем как в угольных бассейнах пермского возраста преобладают лимнические образования и лишь местами развиты морские фауны. Так, в паралических условиях сформировались мощные угленосные отложения Западной и Центральной Европы, Преаппалачского передового прогиба и бассейна Вичита в США, а также менее мощные отложения Северо-Восточного Китая, Северной Англии, Шотландии, Ирландии, восточной окраины Северо-Американской платформы.

К лимническим образованиям относятся угленосные отложения Северных Аппалачей, Саарского бассейна, Французского Центрального плато, Бриансонской зоны Альп, Балкан, Северного Кавказа, Тунгусского, Кузнецкого и Минусинского бассейнов, а также некоторых месторождений в других регионах.

Согласно А. Б. Ронову и В. Е. Хаину (1957), основные верхнепалеозойские угленосные бассейны приурочены к крупным синеклизам древних платформ (Московский и Тунгусский бассейны, Мидконтинент в США, Китай, Южная Африка, Индостан, Западная Австралия), к межгорным прогибам каледонских геосинклиналей (Кузнецкий и Минусинский бассейны, Северные Аппалачи, Англия и др.), к передовым прогибам герцинских геосинклиналей (полоса от Уэльса до Западной Волыни, Донбасс, Преаппалачский прогиб, Вичита), к герцинским межгорным прогибам и внутренним впадинам (Саарский и Силезский бассейны, Французское Центральное плато, Западные Альпы, Балканы, Северный Кавказ, Восточная Австралия).

Крупнейшие в Западной Европе каменноугольные угленосные отложения сосредоточены в ФРГ в Рурском бассейне и относятся к вестфальскому и частично стефанскому ярусам. Угленосная 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,

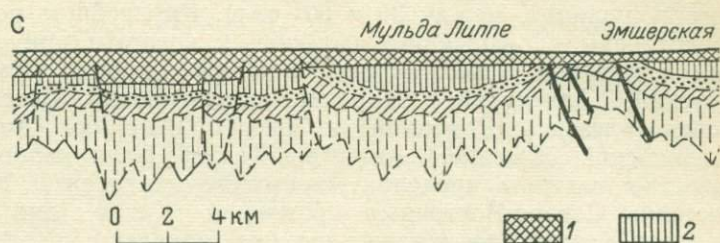


Рис. 8. Разрез через Рурский (Нижнерейнско-Вестфальский) бассейн.

1 — покровные отложения; 2 — длиннопламенные угли; 3 — газовые угли; 4 — жирные угли; 5 — тощие

при высоком удельном весе разностей, пригодных для коксования (рис. 8). Достоверные запасы углей Рурского бассейна, подсчитанные до глубины 1200 м, составляют 34 млрд. т. Средняя глубина разработок главного района добычи превышает 800 м, а в ряде шахт добыча угля осуществляется на глубине более 1000 м.

Большой угленасыщенностью отличается также Саарский бассейн, угленосные отложения которого относятся к вестфальскому и стефанскому ярусам карбона. 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. Он расположен в центре треугольника Саар (Франция)—Люксембург—Лотарингия (ФРГ), в одном из крупнейших районов черной металлургии.

В СССР продуктивные отложения Донецкого бассейна распространены на площади 60 тыс. км² и приурочены к отложениям карбона от свиты С₁² до свиты С₃³. Всего в бассейне насчитывается более 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 68 пластов, в отложениях верхнего карбона — до 7 пластов.

Мощность угольных пластов обычно от 0,5 до 1,3 м и только в западной части бассейна достигает 4—5 м. Большая часть разведанных запасов углей сосредоточена на глубинах до 1200 м, хотя местами глубина залегания угольных пластов превышает 1800 м.

Свыше 65% запасов углей бассейна приходится на коксующиеся, 32% — на энергетические и около 3% — на угли, переходные от каменных к бурым. Степень метаморфизма каменных углей среднего кар-

бона возрастает с запада на восток; от длиннопламенных и газовых до тощих антрацитов. Геологические запасы углей бассейна до глубины 1200 м оцениваются в 74 млрд. т, из них 17 млрд. т коксующихся марок.

Донецкий бассейн имеет огромное народнохозяйственное значение. Добыча углей в бассейне в 1975 г. достигла 223 млн. т, или 31,8% от общей добычи углей в СССР.



угли; 6 — сброс; 7 — надвиг

К верхнему палеозою в европейской части страны относятся также каменные угли Печорского и Кизеловского бассейнов, Львовско-Волынского района, Северного Кавказа и бурые угли Подмосковного бассейна. Площадь распространения пермских угленосных отложений, определяющих основные перспективы Печорского бассейна, достигает 120 тыс. км², мощность их изменяется от 1500 м на юге до 7800 м на северо-востоке. Угольные пласты приурочены к аргиллит-алевролитовым породам. Всего в разрезе пермских отложений известно более 2500 пластов и пропластков угля, из которых около 50 пластов имеют рабочую мощность. В нижнекаменноугольных отложениях известны только два пласта рабочей мощности.

На западе и юго-западе бассейна преобладают длиннопламенные и газовые угли, на востоко-северо-востоке — спекающиеся (марки «ПЖ», «К» и «ПС»), а также тощие и полуантрациты. Из общих геологических запасов углей, оцениваемых в 214 млрд. т, энергетические угли составляют 181,2 млрд. т, коксующиеся — 32,8 млрд. т.

Более значительные ресурсы верхнепалеозойских углей сосредоточены в восточных районах страны, где расположены Кузнецкий, Горловский, Тунгусский, Таймырский, Минусинский, Карагандинский, Экибастузский бассейны с суммарными геологическими запасами углей, превышающими 3 трлн. т.

В Кузнецком бассейне (рис. 9) угленосные отложения представлены осадками от нижнекаменноугольного до четвертичного возраста, слагающими крупную структуру типа синклинория, осложненную многочисленными складками второго порядка и разрывными нарушениями. В пределах бассейна известно пять продуктивных свит, включающих 256 пластов угля, в том числе 99 рабочих. Две нижние свиты — нижнебалахонская (C₂+C₃) и верхнебалахонская (P₁), — представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углистыми породами, содержат многочисленные пласты рабочей мощности углей энергетических и коксующихся марок. Выше, отделенные от балахонских свит отложе-



2318

ниями 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 бурым.

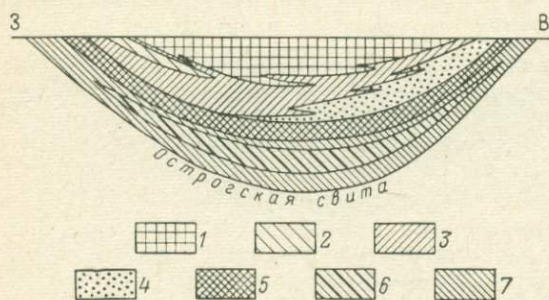


Рис. 9. Схема накопления угленосных палеозойских осадков Кузнецкой котловины. По И. И. Молчанову.

1 — ерунаковская свита; 2, 3 — ильинская свита (2 — речные фации, промышленно угленосная ускатская подсвита, 3 — озерные фации, промышленно неугленосная маркинская подсвита); 4 — красноярская фация; 5 — кузнецкая свита; 6 — озерные фации ишановской и промежуточной подсвит верхнебалахонской свиты; 7 — верхне- и нижнебалахонская свиты

Угли Кузнецкого бассейна отличаются высокой калорийностью (до 8650 кал), небольшим содержанием серы, редко достигающим 1%, и зональностью от 5 до 12%. Общие геологические запасы Кузнецкого бассейна оцениваются в 725 млрд. т, из которых 0,08 млрд. т приходится на девонские отложения, 66,4 — на карбоновые, 640 — на пермские и 18,7 млрд. т — на юрские.

Карагандинский бассейн по размерам добычи угля занимает третье место в стране. Каменные угли бассейна приурочены к отложениям нижнего и среднего карбона, суммарная мощность последних достигает 4000 м. В юрских отложениях развиты бурые угли. Бассейн характеризуется высоким коэффициентом угленосности, который по отдельным свитам колеблется 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 51,3 млрд. т, из которых 49 млрд. т относятся к карбону, 2,3 млрд. т к юре. Большая часть запасов (36,1 млрд. т) относится к энергетическим углям.

Крупнейшие в мире ресурсы углей верхнепалеозойского возраста сосредоточены в Тунгусском бассейне, сложенном озерно-континентальными песчано-глинистыми отложениями карбона, перми и триаса, распространенными на площади, превышающей 1 млн. км². 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 мощностью до 50—100 м. Бассейн находится в зоне вечной мерзлоты, мощность которой здесь от 5—10 до 300 м.

В центральной части бассейна в угленосной свите известно от 2 до 4 пластов угля, в районе Норильска и на Кокуйском месторождении число их увеличивается до 20. Мощность пластов обычно 1—2 м. В Норильском районе отдельные пласты достигают мощности 5—15 м. На Кокуйском месторождении верхний пласт имеет мощность 60—70 м (рис. 10). В связи с различной степенью метаморфизма здесь развиты

весьма пестрые по качеству угли: от длиннопламенных, переходных к бурым, до антрацитов, паровично-спекающихся, паровично-жирных и коксовых. Зольность угля обычно не превышает 8—13%, теплотворная способность на горючую массу составляет 6900—8500 кал.

Геологические запасы углей Тунгусского бассейна определены в 2345 млрд. т, из которых 158 млрд. т относится к каменноугольной системе, 2181 млрд. т — к перми, 6,4 млрд. т к юре и 0,05 млрд. т к палеогену.

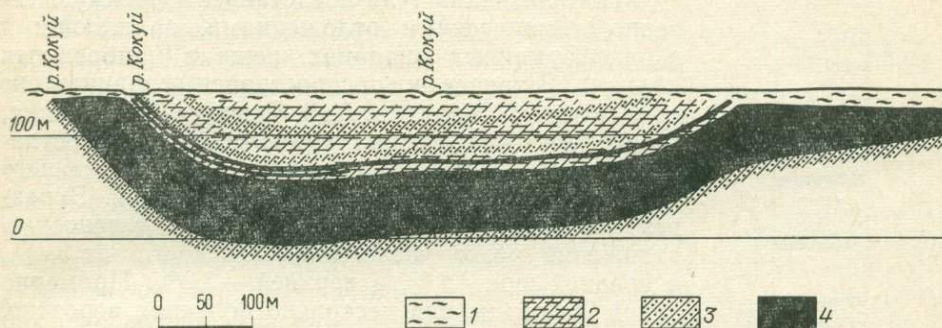


Рис. 10. Геологический разрез Кокуйского месторождения по пласту Мощному. По А. К. Матвееву.

1 — глины; 2 — алевролиты; 3 — песчаники среднезернистые; 4 — уголь

Преимущественно пермскими угленосными отложениями представлен крупнейший в КНР Датунский бассейн гумусовых углей, расположенный 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.

Большая часть верхнепалеозойских углей западного полушария сосредоточена в США, где выделяется ряд крупных областей распространения угленосных отложений карбона. 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.

Угленосные отложения Аппалачского бассейна приурочены преимущественно к пенсильванскому, в меньшей мере миссисипскому отделам каменноугольной системы, распространены на площади около 180 тыс. км² и слагают крупную синклиналиную складку. Они включают до 30 рабочих пластов, представленных преимущественно высококачественными углями коксующихся марок. Месторождения бассейна обеспечивают большую часть общей добычи угля в стране (до 300 млн. т в год). Пласты угля отличаются благоприятными горнотехническими условиями разработки, выдержаны на больших площадях, часто залегают близко к поверхности и пригодны для открытой добычи. Наиболее углефицированные разности залегают в восточной части бассейна, где местами встречаются антрациты. Вдоль западной окраины бассейна угли менее метаморфизованы. Основная часть добываемых углей представлена коксующимися разностями и используется металлургическими предприятиями.

Угленосные отложения Пенсильванского бассейна мощностью до 1000 м приурочены исключительно к пенсильванскому отделу и заключают от 10 до 27 пластов углей суммарной мощностью 47 м. Бассейн является основным поставщиком антрацитов (до 90%), а также дает значительное количество битуминозных углей.

В мезозойское время, как и в палеозое, также существовали весьма благоприятные условия для формирования месторождений каустобиолитов, особенно в районах северного полушария.

Месторождения угля представлены преимущественно лимническими отложениями, залегающими в платформенных впадинах, реже в прибрежных долинах. В триасе они распространены сравнительно ограниченно: по данным А. Б. Ронина и В. Е. Хаина, угленосные отложения нижнего триаса составляют 0,3%, а верхнего триаса 0,2% от общего объема осадочно-вулканогенных формаций. В разрезе нижней юры удельный вес угленосных отложений резко увеличивается и достигает 3,4%, в средней юре 4,2%, в верхней — 3,2%. Примерно такой же объем или несколько больший, вероятно, занимают и меловые угленосные отложения. Подавляющая часть мировых ресурсов мезозойских углей сосредоточена в азиатской части Советского Союза, в Северном Китае и Северной Америке. Сравнительно небольшие месторождения и бассейны известны в Европе, Африке и на западном побережье Австралии.

Геологические запасы мезозойских углей Советского Союза оцениваются в 2700 млрд. т, в том числе триасовых 2,34 млрд. т, юрских — 1540 млрд. т, верхнеюрских и нижнемеловых 44 млрд. т и меловых 1114 млрд. т. Большая часть этих запасов находится в Ленском и Канско-Ачинском бассейнах. По сравнению с палеозойскими месторождения мезозойских углей менее изучены и менее освоены промышленностью.

Промышленная угленосность Ленского бассейна связана главным образом с меловыми, в меньшей мере с юрскими отложениями; широко распространены третичные угли. В бассейне развиты угли всех марок — от бурых до коксующихся включительно;

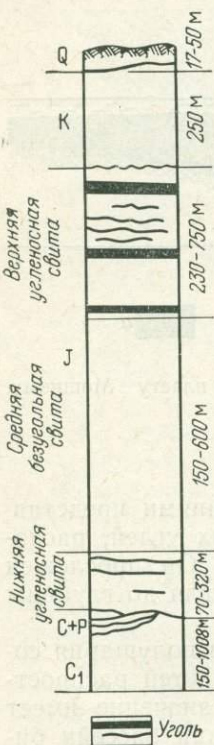


Рис. 11. Схематический нормальный разрез отложений Канско-Ачинского бассейна. По В. Д. Андриевскому

на долю энергетических углей приходится до 88% общих запасов. Бассейн очень слабо изучен и пока в совершенно ничтожной степени осваивается промышленностью. Общие геологические его запасы до глубины 1800 м в 1956 г. были определены в 2647 млрд. т, а до глубины 600 м в 1968 г. оценены в 1647 млрд. т, из них коксующихся 44,3 млрд. т.

Угленосные отложения Канско-Ачинского бассейна прослеживаются на протяжении 680 км при ширине от 50 до 300 км. К северо-западу они 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, основная часть толщи является среднеюрской.

В отдельных районах сохранились наиболее высокие горизонты угленосной толщи, принадлежащие уже верхней юре.

Юрские угленосные отложения разделяются на две свиты: нижняя мощностью до 320 м содержит от 1 до 11 рабочих пластов, верхняя мощностью до 750 м включает от 2 до 14 рабочих пластов угля. В верхней части этой свиты залегает пласт угля мощностью от 17 до 80 м (рис. 11). Угольные пласты залегают на незначительной глубине от 5 до 600 м и на большей части месторождений бассейна могут разрабатываться открытым способом.

В бассейне преобладают бурые угли; каменный уголь составляет всего 2,6%. Каменные угли одного из разведанных месторождений бассейна — Саяно-Партизанского — могут быть использованы в коксовой шихте в качестве добавки (до 40%) к углям марок «Ж» и «ОС». Геологические запасы углей бассейна до глубины 600 м оценены в 601 млрд. т.

Большое значение имеет Иркутский бассейн, сложенный среднеюрскими угленосными отложениями общей мощностью до 500 м, которые выполняют предгорную впадину. Здесь на площади около 4000 км² 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 (марки «Д» и «Г») и частично бурые. Наиболее метаморфизованные спекающиеся угли приурочены к Присаянской полосе. Геологические запасы углей Иркутского бассейна до глубины 300 м оцениваются в 76,3 млрд. т.

Высоким качеством каменных углей отличаются месторождения Южно-Якутского бассейна. Промышленная угленосность здесь приурочена главным образом к дурайской свите юры. Общая мощность угленосных отложений достигает 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 изменяется от 11 до 70 м, составляя в среднем 25—27 м. Угли бассейна относятся к типу гумусовых и соответствуют маркам «ПЖ», «К», «ПС» и «Т». Общие геологические запасы бассейна оцениваются в 22,9 млрд. т угля.

В Казахстане по масштабу угленосности выделяется Тургайский бассейн (Убаганский район), продуктивные отложения которого относятся к верхнему триасу, нижней и средней юре и третичному времени. Основная промышленная угленосность бассейна связана с осадками убаганской серии ниже-среднеюрского возраста (рис. 12). 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 свиты достигает 80—120 м. К осадкам дузбайской свиты приурочено до 10 сближенных пластов угля суммарной мощностью до 40 м. Геологические запасы бассейна составляют 61,9 млрд. т. Угли бассейна гумусовые, бурые, иногда с прослоями сапропелевых углей и горючих сланцев.

Среди зарубежных стран наиболее крупными ресурсами мезозойских углей обладает Китайская Народная Республика. Угленосные отложения преимущественно юрского возраста широко распрост-

Возраст	Свита и ее мощность	Разрез	Мощность пластов угля в числителе, минимальная в знаменателе, в м	Литологический состав
Q	10-20			Растительный слой, суглинки, пески, супеси, глины светло-зеленые
P+N	26			Опоки и опоковидные глины, глауконито-кварцевые песчаники и пески
K ₂	100-120 м			Песчаники кварцевые, пески кварцевые с фракцией, глины, бокситы
K ₁	15-20 м			Бокситы и бокситовые глины, кварц-каолиновые глины и слоистые песчаники
J ₁ -J ₂ (Убаганская серия)	Дубайская, 100 м		1,6-18,5	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, грабелиты, глинистые сланцы, пласты угля
			6,5	
			1,6-16,6	
			9,5	
			0-7,8	
Карасанская, 60 м			3	Алевролиты, аргиллиты и песчаники
			1-14,8	
Кушмурунская, 350 м			0-6,1	Песчаники, алевролиты, аргиллиты с пластами угля
			1,9	
			0,6-35	
Черниговская, 150-200 м			0-9,6	Зона зеленых песчаников, конгломераты, грабелиты, песчаники и угли
			2,6	
			2-62,5	
T			0-9,4	Конгломераты, песчаники, линзовидные пласты угля
			4	
P ₂ -T ₁			0-15	Глины каолиновые
			3	
P ₂ -T ₁				Базальты, андезиты и их лавы, лшлариты и долериты

ранены во многих провинциях республики; угли обычно высокого качества и интенсивно разрабатываются.

В Северо-Восточном Китае расположен ряд бассейнов каменных коксующихся углей, среди которых наиболее важное значение имеет Хэганский бассейн, занимающий по запасам одно из первых мест в стране. В этом же районе известны Фусинский бассейн с разведанными запасами каменных углей в 4 млрд. т, Мааньшаньский — около 1 млрд. т. и ряд месторождений. Сравнительно крупные месторождения каменных углей, частично пригодных для кокования, расположены в провинции Хэбэй. Угленосная толща, представленная здесь юрскими красноцветными песчаниками, которые местами прорываются и покрываются базальтами, содержит до 13 пластов угля рабочей мощности.

Значительные запасы бурых углей мелового возраста сосредоточены в США в пределах штатов Северная и Южная Дакота, Монтана, Вайоминг и Колорадо. Они распространены на площади более 200 тыс. км². Мощность отдельных пластов достигает 14 м. Месторождения почти не разрабатываются в связи с низким качеством углей и отсутствием в этих районах развитой промышленности.

Во многих странах широко распространены кайнозойские угли, практическое значение имеют обычно только месторождения третичного возраста.

Рис. 12. Стратиграфическая колонка Убаганского района Тургайского бассейна. По И. Ф. Токареву

Среди них доминируют бурые разности и лигниты, сравнительно редко встречаются каменные угли (Китай, Япония, Суматра, Калимантан, Канада, США, о. Сахалин), часть которых пригодна для производства кокса.

Наиболее интенсивно кайнозойские угли разрабатываются в Г Д Р, где буроугольные бассейны третичного возраста (Магдебургский, Саксоно-Тюрингенский, Нижнелаузицкий) располагаются в центральной и юго-восточной частях страны. Мощность угольных пластов от 2—7 до 70—100 м. Запасы углей, по разным источникам, оцениваются в 30—49 млрд. т. Теплотворная способность их колеблется от 1800 до 3000 кал при содержании золы от 4 до 10%. В 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 запасы углей составляют 63 млрд. т, годовая добыча превышает 100 млн. т.

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 разностями и лигнитами. Иногда, например в долине Бир-Ривер в Канаде, среди углей третичного возраста встречаются коксующиеся разности. Весьма значительные ресурсы углей от бурых до битуминозных преимущественно эоценового возраста сосредоточены на Аляске (США). Геологические запасы их оцениваются в 100 млрд. т, из которых около 75 млрд. т — бурых.

Крупный район распространения бурых углей известен в Австралии около г. Мельбурна. Угленосные отложения, относящиеся преимущественно к миоцену и плиоцену, заключают семь пластов бурого угля суммарной мощностью до 240 м. Общие запасы углей превышают 40 млрд. т, годовая добыча достигла 23 млн. т

В Китае большой практический интерес представляет Фушунское 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; часть из них пригодна для коксования. Месторождение интенсивно разрабатывается открытым способом.

Кайнозойские угленосные отложения широко распространены во многих районах СССР, общие геологические запасы их составляют 317 млрд. т. Наиболее широко распространены третичные угли в пределах Ленского бассейна, геологические запасы которых оценены в 113 млрд. т. 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, обычно составляет 3—4 м.

Сравнительно крупные ресурсы углей этого возраста сосредоточены в европейской части СССР, где по масштабу геологических запасов выделяются Днепровско-Донецкая угленосная площадь (6,57 млрд. т) и Днепровский бассейн. Последний наиболее хорошо изучен и значительная часть его запасов (2,61 млрд. т) разведана по категориям А+В+С₁. Угленосные отложения бассейна протягиваются полосой на

630 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.

ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

Железные руды относятся к числу широко распространенных полезных ископаемых. Месторождения их формировались в течение всех геологических эпох, известны на всех континентах и отличаются исключительным разнообразием генетических типов.

Основой современной мировой железорудной промышленности являются месторождения *докембрийского* возраста, представленные железистыми кварцитами (джеспилитами, итабиритами, таконитами) и большей частью генетически связанными с ними богатыми железными рудами. Железистые кварциты широко развиты на всех древних щитах и платформах, где они занимают огромные площади, нередко превышающие 100 тыс. км². Формирование их происходило на всем протяжении докембрия. К архейскому возрасту относятся железистые кварциты Южно-Африканской, Австралийской и Индийской платформ*.

Сравнительно редко промышленные месторождения железистых кварцитов приурочены к древним блокам внутри более молодых складчатых областей. В СССР такие месторождения известны в Восточном Саяне, Туве, на Дальнем Востоке (Мало-Хинганский район) и на Южном Урале (тараташская свита).

Железистые кварциты в большинстве районов характеризуются весьма сходными геологическими чертами и представляют собой интенсивно метаморфизованные дислоцированные типичные геосинклинальные отложения, образование которых, вероятно, происходило путем химического осаждения в относительно удаленной от берега глубоководной области и протекало в течение длительного периода в устойчивых физико-химических условиях, о чем свидетельствуют огромные мощности и широкое площадное распространение железорудных формаций. Эта гипотеза не является универсальной. Так, например, возможно, что в отдельных районах (Бразилия) накопление осадков происходило в мелких водах полузамкнутых эпиконтинентальных бассейнов; в таких случаях в разрезе железорудной формации преобладают кластические породы. Наиболее вероятными источниками колоссального количества железа и кремнезема, сконцентрированного в железистых кварцитах, являются продукты поверхностного выветривания более древних пород, хотя не исключается возможность поступления их из подводных магматических очагов, особенно в тех случаях, когда в составе продуктивной свиты преобладают пирокластические образования и эффузивы спилиткератофировой формации.

Имеется много других, иногда резко противоположных точек зрения на генезис железистых кварцитов, но особенно спорным является вопрос о происхождении богатых железных руд, тем более что процессы, обусловившие их образование, даже в пределах одного и того же района или бассейна проявились по-разному.

Из двух наиболее распространенных, взаимоисключающих гипотез о генезисе богатых железных руд — гипергенной и гипогенной — более достоверной и применимой для большинства месторождений представляется первая. В ее пользу свидетельствуют

* В пределах Русской, Китайской, Северо-Американской и Южно-Американской платформ осадки этой своеобразной железорудной формации накапливались преимущественно в нижнем протерозое.

часто наблюдаемые постепенные переходы от неизмененных железистых кварцитов к выветрелым их разностям и богатым рудам, в которых иногда сохраняются реликтовые структуры железистых кварцитов или их останцы. Сторонники гипогенной гипотезы считают, что выщелачивание, вынос кремнезема и перераспределение железа обусловлены гидротермальными растворами магматического или метаморфического происхождения.

Характерной особенностью месторождений железистых кварцитов и связанных с ними богатых руд является значительный масштаб оруденения, позволяющий создавать на их базе крупнейшие горнообогатительные и металлургические предприятия, отличающиеся наиболее высокой рентабельностью.

Так, крупнейшее экономическое значение имеют месторождения железных руд Верхнего Озера, расположенные в северной части США и в прилегающих районах Канады. В течение многих лет эти месторождения занимали первое место в мире по добыче железных руд. За все время эксплуатации (примерно с 1854 г.) добыто более 3000 млн. т богатых руд, годовая добыча достигала 97,2 млн. т товарной руды (1953 г.), или 37,2% суммарной добычи капиталистических и развивающихся стран. К настоящему времени большая часть высокосортных руд (со средним содержанием железа 50—58%) отработана, но оставшиеся запасы все еще оцениваются величиной от 2 до 6 млрд. т. Кроме того, в районе Верхнего Озера имеются крупные ресурсы бедных руд — железистых кварцитов (или таконитов). Геологические запасы их оцениваются в 40—65 млрд. т; добыча железистых кварцитов началась в 1954 г.

Железорудные месторождения Верхнего Озера приурочены к южной окраине Канадского кристаллического щита и широко распространены на территории США и Канады. В пределах США они занимают огромную площадь, охватывающую штаты Миннесота (группы Месаби, Вермильон и Куона), Мичиган (группы Маркетт, Миномини, Пеножи-Годжебик) и Висконсин. Большинство известных здесь залежей железных руд приурочено к осадочным отложениям архейского и протерозойского возраста, представленных полосчатыми железисто-кремнистыми сланцами, яшмами, граувакками, известняками и конгломератами.

О масштабах минерализации и характере ее проявления можно судить по наиболее крупному в этом районе месторождению Месаби, слагающему одноименный хребет (рис. 13). 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 мелкому пологим синклиналильным складкам и отличаются пластовой или пластообразной формой. Нередко встречаются также рудные тела жильного типа, приуроченные к системам трещин и плоскостям разлома в железистых кварцитах.

Богатые руды обычно рыхлые и пористые, состоят главным образом из синего, красного, желтого и бурого гематита с небольшим количеством магнетита, а иногда и бурого железняка. Они отличаются высоким качеством — среднее содержание железа составляет 50—58%, кремнезема 4—8%, фосфора 0,03—0,07%, сера почти отсутствует.

Железистые кварциты, кроме кварца и окислов железа, содержат также карбонаты и железосодержащий силикат — гриналит. Среднее содержание железа составляет 27%, кремнезема 51,3%, глинозема 1,8%,

окси магния 2,8%, окиси кальция 1,1%, углекислоты 5,0% и фосфора 0,03%. Кварциты обычно отличаются полосчатой или ленточной текстурой — частые прослойки руды чередуются с прослойками кварца. Толщина прослоек колеблется от миллиметров до нескольких сантиметров.

Окислы железа в составе железистых кварцитов часто находятся в тонкорассеянном состоянии и в тесном сростании с кремнеземом, поэтому обогащение их требует применения сложного технологического процесса. Однако с учетом возможности открытой добычи промышлен-

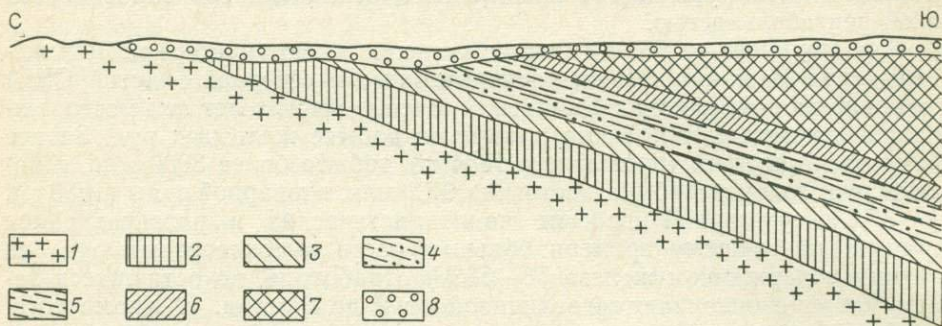


Рис. 13. Схематический поперечный разрез кряжа Месаби.

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

ное освоение этих бедных руд признано экономически целесообразным. В настоящее время после обогащения железистых кварцитов получается концентрат, содержащий 63% железа.

Аналогичные месторождения железных руд известны также в соседних областях Канады. Здесь по масштабам оруденения выделяется железорудный район Лабрадор-Нью-Квебек, приуроченный к Лабрадорской впадине, выполненной осадочно-вулканогенными образованиями протерозойского возраста. Комплекс этих пород, залегающих на головах древних архейских гнейсов, образует пояс шириной от 15 до 100 км и длиной не менее 575 км. Среди них рудоносной является формация Сокоман, которая прослеживается на протяжении 145 км при максимальной ширине 22,5 км. К ней приурочены залежи богатых, преимущественно гематитовых руд пластообразной формы, часто большой протяженности. Они залегают среди железистых кварцитов и образуют серию линейно вытянутых тел, параллельных общему простиранию пород и осям складок. Руды отличаются высоким качеством, среднее содержание железа 50—61%, марганца 0,29—7,64%, фосфора 0,03—0,12%, кремнезема 7,92—8,71%, глинозема 0,59—1,47%.

Крупные месторождения железных руд связаны с докембрийскими отложения Южно-Американской платформы. Особенно широко железорудные формации распространены на территории Бразилии, которая по потенциальным запасам железных руд занимает первое место среди капиталистических стран и, несмотря на сравнительно низкую геологическую изученность месторождений, располагает также весьма значительными достоверными запасами. Наиболее крупные разведанные месторождения сосредоточены в штате Минас-Жерайс, в так называемом «железорудном четырехугольнике», где они приурочены к протеро-

зойской серии метаморфических пород минас, включающих горизонты тонкополосчатых кварцитов — итабиритов.

Основной горизонт итабиритов отличается весьма изменчивой мощностью, от нескольких до 200 м и более. Он распространен на огромной площади, которая только в центральной части штата Минас-Жерайс составляет более 7 тыс. км².

Содержание железа в неизменных итабиритах колеблется в широких пределах. Иногда оно достигает 45%, но в среднем обычно не превышает 30%. Выщелачивание из этих пород кремнезема и других легкорастворимых компонентов в условиях выветривания приводит к значительному повышению в них содержания железа (до 66%). При этом породы становятся пористыми, хрупкими и часто весьма мягкими. В среднем содержание железа в обогащенных естественными процессами итабиритах колеблется от 45% а глубине до 55% и более вблизи поверхности. В некоторых разрабатываемых месторождениях встречаются руды с более высоким содержанием железа. Так, отдельные разновидности руд месторождения Итабирито Пик содержат до 69,4% железа, 0,24% кремнезема, 0,0024% фосфора; месторождения Гандарелла — 68,4% железа, 1,13% кремнезема, 0,74% двуокиси марганца; месторождения Викова — 69,3% железа, 2,57% кремнезема, 0,32% двуокиси марганца и 0,063% пятиокиси фосфора.

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 и более. Разрабатывается выветрелый итабирит, обогащенный за счет выноса кремнезема и часто представляющий собой рудный песок (местное название — «якутинг»), а также особая разновидность железной руды — канга — обломочные образования выветрелого итабирита. Покровы этих обломочных руд мощностью до нескольких метров на ряде месторождений занимают огромные площади и служат предметом первоочередной добычи, так как месторождения отличаются исключительно благоприятными горнотехническими условиями разработки и высоким качеством сырья. Руды канга, так же как и руды якутинг, местами содержат некоторое количество золота. Среднее содержание железа в добываемой руде составляет 50%, а по отдельным месторождениям района достигает 68—69% при содержании кремнезема 0,24—2,57%. Условия залегания железных руд в большинстве случаев позволяют вести добычу карьерами. Общие запасы месторождений Минас-Жерайс составляют 16,2 млрд. т, в том числе богатых руд (с содержанием железа 60%) — 1,2 млрд. т. Прогнозные запасы итабиритов этого штата превышают 35 млрд. т. Кроме того, итабириты развиты на значительных площадях в штатах Мату-Гросу, Гойя, Байя и на федеральной территории Амапа.

Весьма крупным железорудным районом является Морро-ду-Урукум в штате Мату-Гросу, где железорудная формация мощностью более 300 м установлена на площади 1000 км². Характерно наличие в основании этой формации одного или нескольких пластов марганцевых руд общей мощностью до 6 м. Руды отличаются высоким качеством и в среднем содержат 45,6% марганца.

В последние годы важное экономическое значение приобрели месторождения железных руд на западе Австралии, и страна за необычайно короткий срок заняла ведущее место в капиталистическом мире по запасам и добыче этого полезного ископаемого. 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. м.

Установлены три разновидности руд: гематитовые типа руд Верхнего Озера, гематитовые руды типа канга и лимонитовые пизолитовые.

Руды отличаются благоприятными горнотехническими условиями разработки, залегают вблизи поверхности; значительная часть их может быть отработана открытым способом. Общие их запасы достигают 10 млрд. т; в ближайшее время добыча их удвоится и составит не менее 60 млн. т.

Большой практический интерес представляют широко развитые лимонитовые пизолитовые руды, сохранившиеся в виде покровов на плоских останцовых возвышенностях и на террасах долин. Длина отдельных останцов достигает 10 км при ширине 3—5 км и мощности до 30 м. Состоят они из лимонита, гётита и небольшого количества гематита. В рудах разведанных месторождений среднее содержание железа составляет 53,0—56,5%, сумма кремнезема и глинозема — менее 10%. Все они могут разрабатываться открытым способом при ничтожном объеме вскрышных пород. Общие запасы оцениваются в 6—10 млрд. т, в ближайшее время добыча их достигнет 10 млн. т.

Известными в мире железорудными бассейнами являются Криворожский и Курская магнитная аномалия в С С С Р.

Криворожский железорудный бассейн занимает в пределах Украинского кристаллического массива площадь более 300 км² и включает около 300 рудных залежей, приуроченных к протерозойскому складчатому комплексу кристаллических сланцев, железистых роговиков и джеспилитов — криворожской свите, которая в виде узкой полосы протягивается примерно на 100 км.

Продуктивным является средний отдел этой свиты, включающий семь—девять ритмично 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 мартит-гематитовыми джеспилитами и железистыми роговиками, силикатными роговиками с серицитом, хлоритом, амфиболами, биотитом, гематитом, мартитом и гидрогематитом, магнетитовыми или мартит-гематит-красковыми железисто-силикатными роговиками, содержащими хлорит, куммингтонит, актинолит, тремолит, рибекит и серицит.

По преобладанию рудного минерала железистые кварциты подразделяются на магнетитовые, гематит-мартитовые и гидрогематитовые. При содержании железа свыше 25%, неглубоком залегании и значительных запасах магнетитовые кварциты имеют промышленное значение. Разведанные запасы таких кварцитов превышают 5 млрд. т при среднем содержании железа 31—39,5%.

Заклученные 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 пла-

стообразных залежах, прослеживаемых на глубину до 1500—2000 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. Среднее содержание железа в богатых рудах составляет около 62%, 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 мартовского производства, но в связи с невысокой крепостью только 4% разведанных запасов этих руд могут быть использованы как мартовские без предварительной агломерации.

В Криворожском бассейне сосредоточено около 20% разведанных запасов богатых руд Советского Союза, а также крупные запасы магнетитовых кварцитов, которые обогащаются сравнительно простым методом магнитной сепарацией. Ежегодная добыча только богатых железных руд в бассейне превышает 45 млн. т.

На огромной территории, занимаемой Курской магнитной аномалией (КМА), в пределах Курской, Белгородской, Воронежской, Орловской, Брянской и Харьковской областей (около 120 тыс. км²), 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-железно-слюдковые и гематитовые разности. Среднее содержание в них железа 32,0—38,8%, кремнезема 39—45%, глинозема 1,2—1,7%, окиси кальция 1,8—2,5%, окиси магния 1,9—2,6%, фосфора 0,06—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 (рис. 14) уходят в железистые кварциты на значительную глубину (до 350—400 м).

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

Среднее содержание компонентов в богатых рудах следующее: железа 49,7—63,1% (свыше 9/10 учтенных запасов богатых руд характеризуется содержанием железа более 60%), кремнезема 5—8,2%, глинозема 2,75—3%, фосфора 0,02—0,09; имеется сера. По химическому составу эти руды удовлетворяют требованиям, предъявляемым к сырью для мартовского производства. Богатые руды характеризуются высокой пористостью — от 20 до 50%, в среднем более 30%, тогда как у неизмененных железистых кварцитов она обычно не превышает 3%.

Наиболее мощные и богатые рудные залежи 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.

Мировые ресурсы железных руд формации железистых кварцитов оцениваются до 3 трлн. т.

К докембрию относится ряд крупных месторождений железных руд, не связанных с железистыми кварцитами. В Советском Союзе к ним принадлежит Бакальская группа месторождений сидеритовых руд, залегающих среди карбонатных отложений протерозоя (общие запасы руд превышают 1 млрд. т при содержании железа 38—52%), гематитовые руды Ангаро-Питского района, приуроченные к низам нижеангарской свиты протерозоя (1,4 млрд. т при содержании 40—42%), и архейские контактно-метасоматические месторождения Алданского района, среди

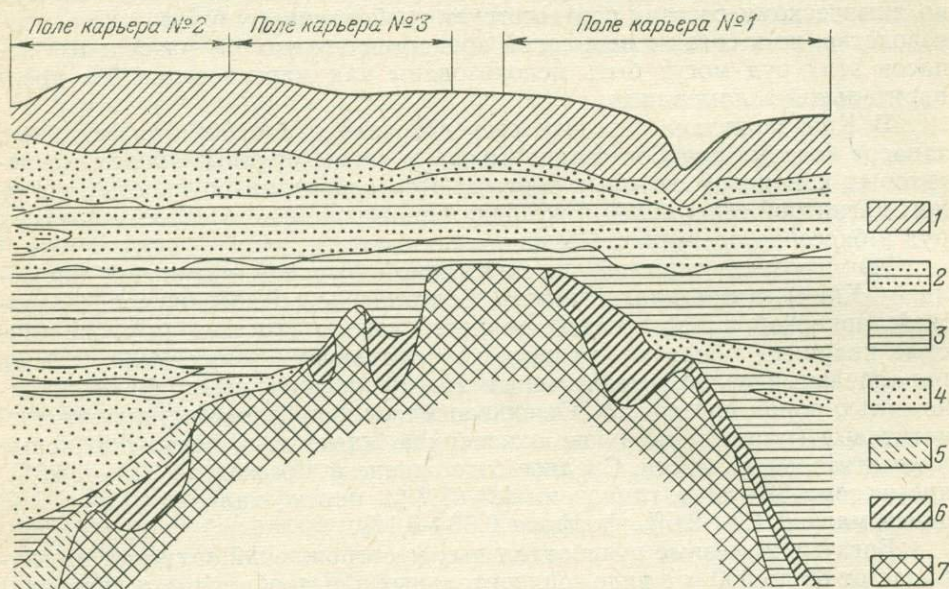


Рис. 14. Геологический разрез Михайловского железорудного месторождения.

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

которых по масштабу оруденения выделяется Таежное месторождение (более 1 млрд. т при содержании 40—46%).

В Швеции докембрийскими являются знаменитые месторождения апатитсодержащих магнетитовых руд Кирунавара, Люссавара и Гелливарара, образование которых, по мнению исследователей, произошло в результате инъекций жидкого рудного остатка магмы. Среднее содержание железа в рудах этих месторождений составляет 60%, фосфора 0,05—4%. Достоверные запасы таких высококачественных руд оцениваются в 2 млрд. т. Наиболее значительная рудная залежь месторождения Кирунавара прослежена по простиранию почти на 5 км при мощности до 85 м. Магнитометрическими исследованиями установлено распространение оруденения на глубину, превышающую 2000 м. На месторождении Гелливарара одно из рудных тел имеет длину 4 км, прослежено на глубину 800 м при мощности от 18 до 30 м.

В Канаде интенсивно разрабатываются гематитовые руды месторождений оз. Стип-Рок, приуроченные к брекчированному альгонкским доломитам и известнякам на контакте их с вулканогенными породами киватинской серии архея.

С докембрийским магматизмом связано образование большинства крупнейших месторождений ванадийсодержащих титаномагнетитовых

руд, особенно широко распространенных в пределах Южно-Африканского, Канадского и Балтийского щитов. Рудоносными являются сложно дифференцированные интрузивы габбро-перидотитовой формации, в которых мощные залежи вкрапленных и массивных руд образовались в результате позднемагматического выделения. В Южно-Африканской Республике они приурочены к бушвельдскому комплексу пород, абсолютный возраст которых определен в 1950 ± 100 млн. лет. К этому же возрасту относят комплекс основных и ультраосновных пород Танзании, с которым 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 более позднее время произошло формирование рудоносных интрузивных пород хребта Джугджур на Дальнем Востоке (средний протерозой) и Балтийского щита (верхний протерозой).

Весьма характерным для большинства интрузивных комплексов, с которыми связаны месторождения титаномагнетитов, является приуроченность их к линейно вытянутым зонам, вероятно, контролируемым протяженными и сложными разломами. В качестве источника железа докембрийские месторождения титаномагнетитовых руд до последнего времени не использовались. В ряде стран (Южно-Африканская Республика, Норвегия, Финляндия) они разрабатываются для извлечения ванадия.

Сравнительно редко встречаются заслуживающие внимания месторождения железных руд *нижнепалеозойского* возраста. Среди них по масштабам промышленной минерализации выделяется месторождение Уобана в Канаде, приуроченное к верхам нижнеордовикской толщи песчаников и глинистых сланцев мощностью 360 м. Рудные линзы и пласты залегают согласно с вмещающими породами, отличаются тонкозернистым оолитовым строением и частополосчатой текстурой. Они состоят из шамозита, гематита, сидерита и пирита в различных соотношениях. Среднее содержание железа в рудах составляет 50—52%, окиси кальция 3,13%, глинозема 4,5%, содержание кремнезема достигает 12%, серы 0,6%, фосфора 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 до 20 млрд. т. Достоверные запасы составляют 2 млрд. т. Разрабатываются три рудных пласта общей мощностью 25 м.

Месторождения железных руд *нижнепалеозойского* возраста известны и на других континентах. В Западной Европе преобладают месторождения низкосортных руд осадочного происхождения, нередко оолитового строения, шамозит-гематитового состава. В Сибири с кембрийскими гранитами и сиенитами связаны сравнительно небольшие месторождения контактово-метасоматических магнетитовых руд.

Более широко, особенно в Европе и Азии, распространены железные руды *верхнепалеозойского* возраста, преимущественно осадочного, реже контактово-метасоматического типа. Подавляющее большинство зарудбежных месторождений мелкие и характеризуются низким качеством руд. Среди осадочных руд верхнего палеозоя преобладают сидеритовые и лимонитовые разности, часто развитые среди угленосных отложений

паралических бассейнов. Оолитовые руды гематит-шамозитового состава встречаются реже.

Наиболее крупным (2—4 млрд. т) и интересным в практическом отношении является месторождение Гара-Джебилет в Алжире, среднедевонские осадочные руды которого в основном сложены гематитом и магнетитом и отличаются сравнительно высоким качеством. В суммарных достоверных запасах железных руд капиталистических и раз-

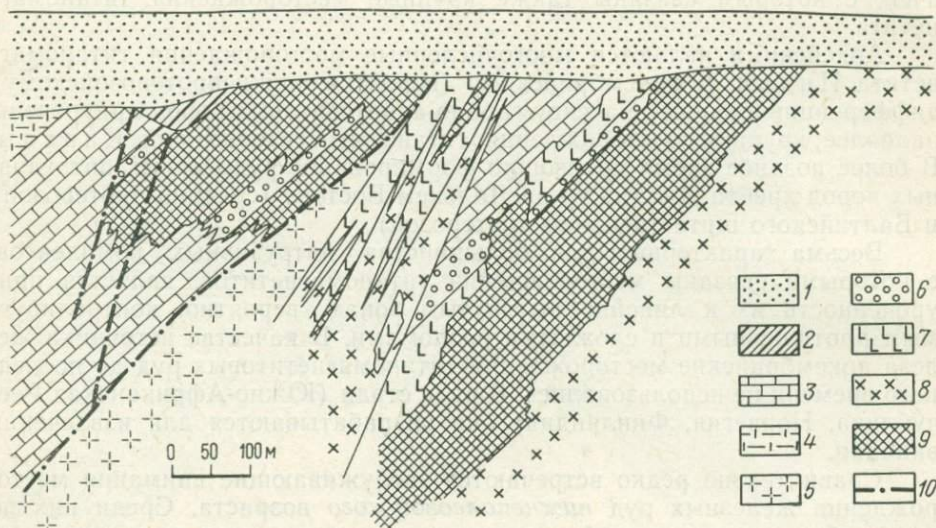


Рис. 15. Геолого-литологический разрез Сарбайского месторождения.

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 скарнированные; 9 — рудные залежи; 10 — зоны дизъюнктивных дислокаций

вивающихся стран удельный вес месторождений верхнепалеозойского возраста составляет только 3%.

Большее значение верхнепалеозойские месторождения имеют в разведанных запасах (около 11%) и добыче (27%) СССР. Промышленные месторождения представлены главным образом скарновыми контактово-метасоматическими магнетитовыми рудами, генетически связанными преимущественно с интрузиями диоритов и сиенито-диоритов. Они широко распространены в Кузнецком Алатау, Западном Саяне, Горном Алтае и особенно на Урале, а также в пределах Тургайского прогиба, рудносная полоса которого прослежена на протяжении около 500 км. Здесь магнетитовые месторождения приурочены к зонам контакта вулканогенно-осадочных пород нижнего карбона — порфиров, альбитофиров и туфов, туфопесчаников и известняков с интрузиями диоритового, гранодиоритового и сиенитового состава предположительно верхнекаменноугольного возраста (рис. 15). Рудные тела залегают в толще эффузивно-осадочных пород, иногда у контакта с интрузиями (Качарское, Соколовское, Сарбайское месторождения), а иногда на значительном удалении от него (Козыревское) или в зоне эндоконтакта интрузивного массива (Куржункульское). Залежи имеют пластообразную форму, наиболее крупные из них прослеживаются по простиранию на 1000—

3800 м и по падению — более чем на 1200 м. Мощности рудных тел колеблются от 25 до 170 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 заключают около половины общих запасов Качарского и Соколовского месторождений. Они содержат в среднем 52,6—58% железа и 0,07—0,28% фосфора. Во вкрапленных рудах содержание железа — от 38 до 41%, фосфора — от 0,13 до 0,17%. Во всех рудах присутствует сера.

В лежачем боку рудных залежей Сарбайского месторождения широко развиты колчеданные руды (среднее содержание железа 35%), в которых пирит и пирротин образуют прожилки и вкрапленность. Повышенное содержание цинка, мышьяка и кобальта в рудах месторождения также связано с проявлением сульфидной минерализации.

Среди месторождений верхнепалеозойского возраста практический интерес представляют также осадочно-метаморфизованные гематитовые месторождения Центрального Казахстана, приуроченные к красноцветной толще кремнисто-карбонатно-мергелистых отложений верхнего девона, месторождения титаномагнетитовых руд, связанных с габбро-пироксенит-дунитовой формацией Урала. По масштабу оруденения выделяется Качканарское месторождение, балансовые запасы титаномагнетитовых руд которого на начало 1975 г. составляли 4,8 млрд. т, при среднем содержании железа около 17%, сравнительно низком содержании титана 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 ассоциирующимися с ними карбонатитами связаны месторождения апатит-магнетитовых (Ковдорское) и перовскит-магнетитовых (Африкандское) руд.

Широко распространены *мезозойские* месторождения железных руд. В СССР в нижнем триасе образовались месторождения магномагнетитовых руд, представленных трубками взрыва, связанными с трапповой формацией Сибирской платформы. Наиболее крупные из этих месторождений сосредоточены в Ангаро-Илимском районе и приурочены к глубоким региональным зонам разлома. Месторождения представлены вулканическими трубками взрыва 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 (Р—С), 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% окиси магния. Кроме магномагнетита, руды содержат маггемит (магнитную окись железа), а также примесь серпентинита, хлорита и хлорапатита. Часто они имеют натечные структуры (размеры «оолитов» достигают 1—1,5 см), что указывает на образование месторождений в гидротермальных близповерхностных условиях из растворов, имевших, по-видимому, в период рудоотложения коллоидный характер.

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 окиси магния и окиси кальция руды ангаро-илимских месторождений близки к самоплавким, что значительно повышает их металлургическую ценность. В отдельных месторождениях руды содержат (в среднем) железа от 34 до 46%, небольшое количество серы, фосфора от 0,14 до 0,32%, окиси магния от 6,53 до 12,8% окиси кальция от 7,0 до 13,8%, кремнезема до 8%.

К заслуживающим внимание месторождениям триасового возраста относятся осадочные гематитовые руды Малайзии. Многочисленные, в основном мелкие, месторождения бурых железняков, приуроченные к отложениям триаса, известны в ряде стран Европы. Этот же возраст имеют метасоматические сидерит-гематитовые руды Югославии.

Для мезозойской эры особенно характерно широкое распространение морских осадочных железных руд оолитового строения, формирование которых происходило в юрское и меловое время в платформенных мелководных прибрежных условиях. В Западной Европе к ним относятся самоплавкие, преимущественно лимонитовые руды Лотарингского бассейна, занимающего огромную площадь на территории Франции, Люксембурга и Бельгии, а также многочисленные месторождения Великобритании, представленные главным образом плотными сидеритовыми рудами. Накопление этих руд, общие запасы которых оцениваются в 10—12 млрд. т, происходило почти целиком в лейасе и лишь небольшая их часть (около 1%) заключена в отложениях доггера и мальма.

В Лотарингском бассейне, представляющем собой обширные отложения оолитовой минеттовой железной руды, сосредоточена большая часть достоверных запасов и добычи железных руд Франции. В пределах бассейна, занимающего площадь в 1100 км², установлено девять пластов железной руды мощностью от 1 до 13 м, залегающих до глубины 200 м в восточной части бассейна и выходящих на поверхность в западной. Пологозалегающие рудные пласты (2—7°) нарушены сбросами. Общая мощность железорудной толщи составляет 25—30 м, иногда достигает 50 м. В ней выделяются три группы пластов; верхняя (железистый известняк, красный пласт), средняя (желтый и серый пласты) и нижняя (коричневый, черный и зеленый пласты).

Содержание железа в рудах бассейна колеблется от 25 до 40%. Руды северной части бассейна более известковисты (окислы кальция 6—19%, фосфора 0,6—0,8%), запасы их составляют свыше 60%, а юж-

ной части — кремнисты (кремнезема 13—25%, фосфора 0,4—0,8%). Руды состоят главным образом из лимонита, а также сидерита и гематита. Отличительной особенностью лотарингских руд является их самоплавкость (содержание окиси кальция 18%), кроме того, они не требуют дополнительных флюсующих материалов.

Юрские морские оолитовые гематитовые руды известны на юге Китая. В СССР мезозойскими являются руды Тульского и Липецкого бассейнов и мало интересные в практическом отношении сидерит-гидрогетитовые руды Кировской и Горьковской областей. С юрской корой выветривания связаны месторождения сидерит-стриговит-гидрогематитовых руд Алапаевской группы на восточном склоне Среднего Урала и сидерит-лептохлорит-гидрогематитовые руды Халиловской группы на Южном Урале.

В СССР известны месторождения железных руд нижнемелового возраста. К ним, например, относятся Березовское месторождение лимонит-сидеритовых руд в Восточном Забайкалье и Дашкесанское месторождение контактово-метасоматических руд на Кавказе.

Нижнемеловыми являются оолитовые бурые железняки районов Зальцгитера и Ильзеде-Пейне в Западной Германии и мелкие месторождения в ряде других стран Европы. Предположительно к верхнему мелу относятся месторождения замещения в известняках (тип бильбао), разрабатываемые в Испании, Алжире, Марокко и Тунисе.

Большие запасы низкокачественных железных руд в Советском Союзе сосредоточены в верхнемеловых отложениях. Это оолитовые бурые железняки Аятского бассейна, общие запасы которого составляют около 7 млрд. т, и Колпашевского бассейна в Западно-Сибирской низменности с геологическими запасами в десятки миллиардов тонн.

Подобно юрским рудам, они образовались в прибрежных условиях платформенных бассейнов, на периферии которых формировались гидрогетитовые руды, а в центральных частях — лептохлоритовые и сидерит-лептохлоритовые.

Удельный вес мезозойских месторождений в достоверных запасах железных руд капиталистических и развивающихся стран достигает 19%, а в разведанных запасах СССР — около 7%.

Многочисленные месторождения железных руд разнообразных генетических типов образовались в *кайнозое*. Широко распространены, особенно в странах южного полушария и Юго-Восточной Азии, месторождения латеритных железных руд, связанных с корой выветривания. Рудные залежи распространены на огромных площадях территории Кубы, Индонезии, Филиппин, Новой Каледонии и Гвинейской Республики; запасы их исчисляются многими миллиардами тонн. Не всегда удается установить более точно возраст этих месторождений, формирование которых продолжается и в настоящее время. Судя по литературным данным, в Индонезии они образовались в верхнем миоцене, в Новой Каледонии — в миоцене—олигоцене.

Железные руды латеритного типа часто содержат в промышленных концентрациях никель и кобальт и разрабатываются с целью извлечения именно этих полезных компонентов. Промышленное значение их как источников железа невелико, так как присутствие в этих рудах в переменных, иногда значительных, количествах никеля и особенно хрома мешает их непосредственному использованию для выплавки чугуна. Исключениями являются латеритные руды, связанные с корой

выветривания пород формами железистых кварцитов в странах южного полушария, в частности в Австралии и Либерии.

В СССР практическое значение имеют Керченский бассейн и Лисаковское месторождение оолитовых руд плиоценового возраста, обладающие значительными запасами. Для этих руд характерно повышенное содержание фосфора, который в процессе металлургического передела концентрируется в шлаках и может использоваться с большим эффектом в сельском хозяйстве для удобрения.

Рудоносный горизонт Керченского бассейна 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 6—40 км и шириной 1,5—4, иногда до 6—13 км. Общая рудная площадь бассейна превышает 250 км². Мощность рудных залежей колеблется от 0,5—2 м в краевых частях мульды, 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. Главные рудные минералы—лептохлорит, гётит, гидrogётит, в меньшей мере сидерит, олигонит, лимонит, псиломелан. Кроме того, руды содержат в значительных количествах глауконит, кварц, фосфаты, карбонаты, сульфаты и глины.

Химический состав руд бассейна характеризуется следующими данными железа 33,6—40,3% (среднее 37,3%), марганца 0,8—2,53%, фосфора 0,6—1,06%, мышьяка 0,07—0,1%, окиси кальция 1,89%, окиси магния 1,02—1,07%, кремнезема 11—22%, глинозема 5% (иногда до 10,8%). В рудах присутствуют хром, титан, ванадий.

Руды Керченского бассейна принято относить к прибрежно-морским осадочным образованиям.

Лисаковское месторождение оолитовых руд в Западном Казахстане приурочено к отложениям кустанайской свиты плиоцена, выполняющим древнюю аллювиальную долину в мезо-кайнозойских отложениях. Оруденение прослежено в широтной полосе протяжением почти 100 км и шириной от 1 до 8 км (в среднем 1,5 км). Наиболее крупная Главная залежь протягивается на 20 км при ширине 1—1,5 км и максимальной мощности 25—30 м. Мощность остальных залежей составляет 4,1—4,7 м; протяженность их измеряется несколькими километрами, при ширине 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 обохранные, и неокисленные, почти не отличающиеся по химическому составу от первых. Окисленные руды в основном рыхлые, состоят из оолитов, стяжений и обломков гидrogётитового состава с примесью зерен кварца и полевого шпата. Нижние, неокисленные горизонты рудной толщи, особенно в восточной части месторождения, большей частью имеют плотное сложение вследствие цементации оолитовых бурых железняков лептохлоритом, а местами (обычно ниже уровня грунтовых вод) и сидеритом. Особенностью месторождения является струйчатое строение рудных залежей, характерное для типичных аллювиальных образований.

Средний химический состав руд: железа 36,4%, кремнезема 31%, фосфора 0,48%.

Таблица 1

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений железных руд

Морфогенетический тип месторождений	Тип руд	Разведанные запасы отдельных месторождений, млн. т	Содержание железа, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горнообогатительного предприятия, млн. т сырой руды	
				открытой	подземной	в разведанных запасах		в добыче		открытым способом	подземным способом
						в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах		
Пластовые и пластообразные залежи гематит-мартитовых руд с устойчивой мощностью и выдержанным качеством, залегающие совместно с железистыми кварцитами среди метаморфических пород докембрия	Гематит-мартитовые (красные железняки — богатые руды)	200—2000	40—62	600	1500	14	16	35	18	0,3—0,9	0,8—11,0
	Железистые кварциты	200—3500	16—40	600	—	49	48	34	39	1,5—30	—
Горизонтальные и пологопадающие пластовые залежи бурых железняков и сидеритовых руд оолитовой текстуры с устойчивой мощностью и равномерным оруденением	Бурые железняки, сидериты	150—3000	35—40	150	—	9	12	2,5	24	0,7—8,0	—

Морфогенетический тип месторождений	Тип руд	Разведанные запасы отдельных месторождений, млн. т	Содержание железа, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горнообогатительного предприятия, млн. т сырой руды	
				открытой	подземной	в разведанных запасах		в добыче		открытым способом	подземным способом
						в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах		
Массивы основных и ультраосновных пород с интенсивной вкрапленностью магнетита и ильменита	Титаномагнетиты	400—7000	16—44	200	—	10	10	2,8	3	до 35,0	—
Крупные и средние пластообразные, трубообразные и линзообразные залежи сложного строения с относительно выдержанным качеством магнетитовых руд	Магнетитовые, апатит-магнетитовые и магномагнетитовые	100—1500	30—60	700	1500	16	9	23	15	0,5—18,0	0,3—8,0
Пластообразные залежи и покровы латеритовых руд, связанные с корой выветривания ультраосновных массивов	Природно-легированные бурожелезняковые	150—300	32—40	100	—	0,5	3	0,2	—	0,5—1,0	—
Крупные и средние пластообразные тела сидеритовых руд, преимущественно среди карбонатных пород	Сидериты	200—500	30—32	100	—	1,5	2	2,5	1	0,3—1,0	—

Из анализа всех рассмотренных выше материалов следует, что среди разведанных месторождений железных руд выделяются шесть морфогенетических типов, четыре из которых составляют основу железорудной промышленности (табл. 1).

МАРГАНЦЕВЫЕ РУДЫ

Крупные месторождения промышленных марганцевых руд встречаются редко; большая часть мировых разведанных запасов марганца сосредоточена в четырех месторождениях, связанных с *морскими кремнистыми осадками*, — Никопольском, Большетокмакском и Чиатурском в СССР и Моанды в Габоне. Рудоносными в них являются кайнозойские песчано-глинистые отложения, в которых рудообразующие минералы присутствуют в форме конкреций, оолитов, стяжений и землистых скоплений.

Никопольское и Большетокмакское месторождения 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 тоже олигоценового возраста и руды месторождения Моанды, 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 представлено одним выдержанным пластом марганцевой руды в нижней части песчано-глинистой толщи. Рудообразующими минералами являются манганит, пиролюзит, псиломелан и манганокальцит, присутствующие в форме конкреций, стяжений, оолитов и землистых скоплений. По минеральному составу среди руд выделяются окисные, карбонатные и смешанные (окисно-карбонатные) разновидности. Наибольший практический интерес представляют окисные руды, среди которых лучшими являются малофосфористые руды.

Рудоносный горизонт вследствие размыва сохранился лишь на отдельных площадях. Он перекрыт харьковскими песчано-глинистыми отложениями, выше которых залегают пески, глины и известняки сармата и понта, горизонт красно-бурых глин и толщи лёссовидных четвертичных суглинков. Общая мощность надрудных отложений колеблется от 10 до 110 м.

Продуктивные отложения Большетокмакского месторождения являются непосредственным продолжением никопольских и также заключают один горизонтально залегающий пласт марганцевых руд. Последние представлены преимущественно карбонатными разновидностями 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 90 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, глубина залегания — от 50 до 100 м. Верхняя его часть сложена конкрециями манганита и псиломелана в сажистой рудной массе, 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.

Основной марганценосный горизонт Чиатурского месторождения приурочен к нижней части олигоценовых спонголитовых песчаников и отделяется от нижележащих верхнемеловых известняков тонким прослоем грубозернистого кварц-аркозового песчаника. Перекрыт он 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 маломощные (50—10 см) прослойки карбонатных и окисленных руд.

Основной 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, мцвари — обычно к его основанию.

Широко развиты карбонатные руды, залегающие над окисными рудами или замещающие их полностью в периферических частях месторождения. Мощность карбонатных руд колеблется от 0,5 до 1,5 м, редко достигая 2 м. Сравнительно широко распространены окисленные руды.

Согласно Л. Бауде (Baud, 1956), разрез продуктивных отложений месторождения Моанды в Габоне имеет следующий вид (сверху вниз):

- современные песчано-глинистые отложения мощностью от 10 до 40 см с редкими марганцевыми оолитами;
- глинистые порошкообразные отложения средней мощностью 3—4, редко 7 м с заметным количеством марганцевых оолитов. Размер оолитов колеблется от 3 до 6 мм в диаметре, среднее содержание в них марганца составляет 15%;
- глинистые отложения мощностью 1,1 м 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%;
- основной рудный пласт, состоящий из трех слоев общей мощностью от 3 до 7 м (в среднем 5,2 м), сложенных псиломеланом и пиролюзитом. Содержание марганца от 30 до 48% (на отдельных участках до 50—57%), фосфора 0,04—0,13%, серы 0,03—0,09% (рис. 16).

Марганцевые руды распространены на обширной территории. Площадь только изученных участков превышает 30 км². Запасы разведанных богатых руд, залегающих вблизи поверхности и пригодных для открытой разработки, составляют 200 млн. т, годовая их добыча около 2 млн. т. Общие запасы марганцевых руд этого района оцениваются примерно в 450 млн. т.

Осадочные месторождения марганца, связанные с морскими кремнистыми осадками, известны и в ряде других районов мира, но обычно

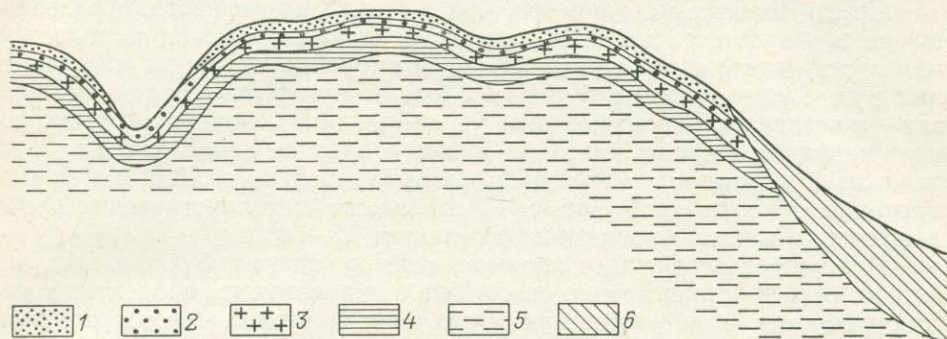


Рис. 16. Схематический геологический разрез месторождения марганцевых руд Моанда. По Л. Бауду.

1 — песчано-глинистые отложения с редкими марганцевыми оолитами; 2 — песчано-глинистые отложения с большим количеством марганцевых оолитов; 3 — марганцевые руды; 4 — сланцы и песчаники серии франсвилль; 5 — коренные породы; 6 — делювий

они характеризуются сравнительно небольшими запасами руд среднего качества. В Советском Союзе это месторождения восточного склона Уральского хребта. Рудный горизонт включает один или два пласта марганцевых руд, мощность которых составляет в среднем 1—3 м, а в раздувах превышает 25 м. Из-за размыва продуктивных отложений первичноокисные руды сохранились лишь на некоторых месторождениях; на остальных известны только карбонатные руды и продукты их позднейшего окисления.

Другой важнейший промышленный тип марганцевых руд (особенно широко развит он в капиталистических и развивающихся странах) связан с месторождениями, формирование которых произошло в результате метаморфизма или гипергенного выветривания первичных осадочных или осадочно-вулканогенных пород. К ним относятся месторождения богатых руд (содержания марганца выше 25%) Индии, Ганы, Бразилии и Южно-Африканской Республики.

Месторождения марганцевых руд Индии приурочены к гондитовой осадочно-метаморфической серии дхарварской системы архея, абсолютный возраст которой определен в 2300—2450 млн. лет. Вмещающие гондитовые породы, состоят преимущественно из спессартина, родонита и кварца. Рудные залежи обычно пластообразной, реже линзообразной формы, часто отличаются крупными размерами и по простиранию прослеживаются до 3000 м при мощности до 13—15 м. Руды, представленные преимущественно смесью псиломелана и браунита (встречаются также спессартин и родонит), в среднем содержат 30—45% марганца, 6,2—7,4% железа, 4—8% кремнезема и 0,07—0,11% фосфора.

Меньшее значение имеют месторождения, формирование которых происходило в результате выветривания кодуритов, представляющих

собой интрузивную породу, состоящую в основном из калиевого полевого шпата, марганцевого граната и апатита, иногда с марганцевым пироксеном и амфиболом. Руды сложены главным образом псиломеланом при подчиненном развитии пиролюзита и браунита. Содержание марганца в рудах 20—30%.

Несколько позднее индийских образовались руды месторождения Нсута-Дагвин в Гане, приуроченные к горизонту марганецсодержащих филлитов и гондитов бирримской серии архея.

Среди богатых марганцевых руд выделяются разности, образовавшиеся в результате замещения путем заполнения трещин и полостей, или в результате выщелачивания нерудных компонентов из низкосортных руд. Руды сложены главным образом минералами ряда пиролюзит — рамсделлит и псиломеланом; в небольших количествах присутствует манганит. Окислы марганца имеют вторичное происхождение и их отложение связано с миграцией грунтовых вод и осаждением из них марганца в коллоидной форме. Преобладают металлургические руды, в которых содержание марганца составляет 25—50%.

Нижнепротерозойскими являются месторождения Бразилии, генетически и пространственно связанные с итабиритами, продуктами метаморфизма и выветривания которых они являются. Месторождения, вероятно, образовались путем выщелачивания железа и кремнезема из марганцовистых итабиритов с попутным частичным перераспределением марганца. В рудах месторождений штата Минас-Жерайс наблюдаются постепенные переходы от итабиритов к богатым окисным марганцевым рудам. В рудах других месторождений страны иногда присутствуют остатки незамещенных силикатов, карбонатов и сульфидов марганца и на этом основано предположение, что в начальной стадии формирования руд здесь имело место гидротермальное замещение, сопровождавшееся образованием марганцевых сульфидов. Марганцевые руды Бразилии отличаются высоким качеством. На разведанных участках содержание марганца в псиломелано-пиролюзитовых рудах колеблется от 40 до 50%, железа от 5 до 11%, кремнезема от 2 до 4% и фосфора около 0,1%.

К верхнему протерозою, вероятно, относится формирование богатых марганцевых руд Постмасбургского месторождения в Южно-Африканской Республике. Руды распространены на значительной площади, слагая две полосы меридионального направления. Западная полоса, известная под названием кряжа Гамагара, протягивается с севера на юг на 61 км; при этом на протяжении 43 км руды почти непрерывно прослеживаются на поверхности. Мощность рудных тел подвержена большим колебаниям — от 0,9 до 35 м. Восточная полоса в результате размыва превращена в цепь останцов. Рудная зона почти повсеместно подстилается доломитами, и руда во многих местах в виде языков проникает в доломит. 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%.

Месторождения марганцевых руд, формирование которых обусловлено метаморфизмом или гипергенным выветриванием содержащих марганец пород, сравнительно широко распространены в ряде других стран — Анголе, Намибии, Заире, Австралии, но от охарактеризованных выше месторождений этого типа отличаются более скромными масштабами оруденения и более низким содержанием марганца.

Широко развиты осадочные месторождения марганца, связанные с *морскими известковыми осадками*. Наиболее интересными представителями этого генетического типа являются месторождения Марокко, эксплуатация которых началась незадолго до второй мировой войны. По размерам запасов и добыче выделяются месторождения района Имин, рудные залежи которых в форме линзообразных тел приурочены к доломитам мелового возраста. Основным марганцевым минералом является псиломелан. Среднее содержание марганца в разрабатываемых рудах достигает 45%. Другая группа месторождений марганца Бу-Арфа расположена в восточных отрогах Высокого Атласа. Здесь оруденение, приуроченное к известнякам пермо-триаса, представлено залежами линзообразной формы, состоящими из смеси пиролюзита, гематита и кальцита. Руды содержат около 30% марганца и 15% железа.

В Советском Союзе к известковым морским осадкам приурочены марганцевые руды Усинского месторождения в Кузнецком Алатау. Развитые здесь осадочные породы, особенно карбонатные их разновидности — известняки и доломиты — почти всегда содержат в переменных количествах марганцевые минералы; рудные прослойки, макроскопически не отличимые от нерудных, выделяются только по данным химических анализов. К рудным горизонтам относятся карбонатные породы с содержанием марганца 10% и выше. 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 выделяют два основных типа руд — родохрозитовые и манганокальцитовые. В подчиненном количестве развиваются силикатно-карбонатные руды. В верхних горизонтах месторождения, в среднем до глубины 40 м, развиты окисленные руды. Обычно они представлены псиломелановыми разновидностями. Реже встречаются вернадитовые и пиролюзитовые руды. В окисленных рудах среднее содержание марганца составляет 26,9%, железа 8,6%, фосфора 0,27% и кремнезема 25,3%.

Среди морских осадочных месторождений марганца принято выделять в качестве самостоятельного генетического и промышленного типа *метаморфизованные* месторождения, первичные руды которых претерпели небольшие изменения, выразившиеся преимущественно в обезвоживании гидроокислов и некоторой перекристаллизации рудных минералов. В Советском Союзе к такому типу относится Атауская группа месторождений, расположенная в Центральном Казахстане. Марганцевые руды этих месторождений приурочены к карбонатно-кремнистым породам фаменского и турнейского ярусов и представлены браунитовыми или браунит-гаусманитовыми разновидностями, марганцовистыми гематитами, железо-марганцевыми карбонатно-кремнистыми и богатыми известью карбонатными марганцевыми рудами. В зоне окисления эти руды сменяются полуокисленными псиломелан-браунитовыми рудами, которые выше переходят в нацело окисленные псиломелановые руды.

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений марганцевых руд

Морфогенетический тип месторождений	Тип руд	Разведанные запасы отдельных месторождений, млн. т	Содержание марганца, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горнообогатительного предприятия, тыс. т сырой руды	
				открытой	подземной	в разведанных запасах		в добыче		открытым способом	подземным способом
						в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах		
Крупные пластообразные горизонтальные или слабонаклонные залежи с относительно равномерным качественным составом руд и выдержанной мощностью, связанные с морскими кремнистыми осадками	Окисные, окисно-карбонатные	150—1000	20—50	100	200	94	50	99	20	1400—8750	300—3400
Пластообразные и линзообразные залежи, с неравномерным распределением оруденения, образованные в результате метаморфизма или гипергенного выветривания осадочных и вулканогенно-осадочных пород	Окисные, окисно-карбонатные, железомарганцевые	15—75	25—50	100	200	3	45	1,0	75	300—1500	50—250
Пластообразные залежи, связанные с морскими известковистыми осадками	Окисно-карбонатные руды	10—50	25—30	100	—	—	2	—	4	100	—

Реже распространены марганцевые руды, связанные с *вулканогенно-осадочными (пирокластическими) образованиями*, формирование которых происходило в морских условиях. На Кубе они приурочены к породам свиты кобре верхнемелового возраста, сложенной андезитовыми, базальтовыми и дацитовыми туфами, агломератами и в небольшом количестве кластическими и карбонатными породами. Марганцевые минералы представлены псиломеланом и пиролюзитом, развитым в цементе туфов и агломератов; реже встречаются силикатные руды марганца. Мощность рудных тел колеблется от сантиметров до 15 м, длина их достигает 1000 м и более. Содержание марганца в рудах варьирует от нескольких процентов до 45—50%.

Изредка встречаются практически интересные месторождения марганца, связанные с кластическими осадками. В СССР в Центральном Казахстане представителем этого типа является месторождение Джезды, где выделяются две морфологические разновидности руд:

— пластообразные залежи, представленные конгломератами и аркозовыми песчаниками и рудным цементом;

— линзообразные и жилообразные залежи, приуроченные к зоне разломов и сложенные массивными рудами или брекчиями с преобладанием рудного цемента над обломочным материалом.

Первичным минералом является псиломелан, за счет которого позднее образовался браунит. Характерно содержание в рудах значительного количества свинца.

Гидротермальные месторождения марганца в настоящее время, за крайне редким исключением, практического значения не имеют. В незначительных размерах мелкие жильные месторождения этого типа разрабатывают в Японии. Рудные жилы, приуроченные здесь к пиритизированным миоценовым андезитам и риолитам, сложены преимущественно родохрозитом, при почти постоянном присутствии сульфидов железа, свинца, цинка и меди. Содержание в рудах марганца составляет 25—39%.

Крупнейшие ресурсы марганца сосредоточены на дне глубоководных впадин Тихого, Индийского и Атлантического океанов в области накопления красных глин, радиоляриевых, реже карбонатных илов. Они представлены железо-марганцевыми конкрециями, выстилающими дно океанических впадин на огромных площадях, общие запасы их неизмеримо больше, чем всех остальных типов марганцевых месторождений вместе взятых.

Как следует из всего изложенного, среди разведанных месторождений марганцевых руд выделяются три морфогенетических типа, из них два составляют основу марганцеворудной промышленности (табл. 2).

ХРОМИТЫ

Крупные промышленные месторождения хромитов, особенно высокосортных руд, отвечающих требованиям металлургической и химической промышленности, встречаются крайне редко. За рубежом к ним относятся месторождения ЮАР и Родезии, в Советском Союзе — месторождения Казахстана.

В Южно-Африканской Республике месторождения образуют два хромитовых пояса протяженностью 112 и 160 км, связанных с докембрийским Бушвельдским дифференцированным стратифицированным комплексом ультраосновных изверженных пород. Продуктив-

ными являются пять горизонтов, в пределах которых залежи вкрапленных и массивных руд образуют параллельные прослои мощностью от 2 см до 2 м, подчиненные псевдостратификации вмещающих пироксенитов и анортозитов (рис. 17). Преобладают низкокачественные руды, и поэтому разрабатываются в основном обогащенные участки, в рудах которых содержание окиси хрома превышает 30%, редко достигает 45%. Общие запасы хромитов оцениваются величиной от 1050 до 2000 млн. т.

Абсолютный возраст продуктивных пород определен в 1960 ± 100 млн. лет; также оценивают возраст интрузива Великой дайки, с которой генетически и пространственно связаны месторождения Родезии. Комплекс этих пород протягивается через центральную часть страны на 560 км при видимой мощности от 3,2 до 12,9 км. В петрографическом отношении они весьма сходны с породами бушвельдского комплекса и также характеризуются резко выраженной псевдостратификацией с образованием пологой псевдосинклинальной структуры. Центральную часть структуры слагают нориты, крылья — подстилающие их перидотиты, дуниты, пироксениты и гарцбургиты, а также тальковые и хлоритовые сланцы и серпентиниты.

Рис. 17. Верхний хромитовый горизонт в бушвельдском комплексе. Выработки Притчарда, Крунепдаль, Трансвааль.

1 — наносы; 2 — анортозит; 3 — диаллаговое габбро; 4 — бронзитит-диаллаговая порода; 5 — хромит

«Слои» хромитов мощностью 10—25 см приурочены к четырем сходным комплексам пород, которые 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 окиси хрома 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% окиси хрома и около 2% кремнезема.

Менее крупные месторождения хромитов распространены в районе Селукве, где рудные тела залегают преимущественно среди серпентинизированных гарцбургитов, тальковых, хлоритовых, тальк-карбонатных сланцев и серпентинитов и обычно имеют неправильную жиллообразную и линзообразную форму. Длина их по простиранию колеблется от 45 до 1800 м при мощности от 3 до 6 м. Руды весьма сходны с хромитами Трансвааля, но отличаются от них более высоким качеством. Среднее содержание окиси хрома в богатых рудах составляет около 50%, закиси железа 11%, окиси магния 13%, глинозема 15% и кремнезема 5%. Судя по содержанию алюминия и магния, руда состоит из хромпикотита. Разработки ведутся открытым способом.

Большое экономическое значение имеют месторождения хромитов, связанных с Кемпирсайским ультраосновным массивом, расположенным в Западном Казахстане в СССР. Он сложен преимущественно перидо-

титами типа гарцбургитов, наиболее широко развитых в его северной, центральной и западной частях. Менее распространены дуниты, встречающиеся главным образом в южной части массива и вдоль восточной его окраины.

Кемпирсайский массив приурочен к гипербазитовому поясу, протягивающемуся вдоль Главного Уральского разлома (по границе древних толщ Урал-Тау с эвгеосинклинальной областью Урала) на расстоянии свыше 2000 км и включающему ряд крупнейших массивов ультраосновных пород. Массив характеризуется весьма сложной тектоникой, в его пределах помимо крупных разломов широко развита сеть более мелких дислокационных трещин.

Хромитовые руды приурочены к участкам развития дунитовых серпентинитов, среди которых они залегают в форме конкордантных пластообразных или линзообразных залежей, разбитых тектоническими нарушениями на серию смещенных по отношению друг к другу блоков. Обычно они залегают на глубинах от 25 до 500 м, но местами обнажаются на дневной поверхности. Контакты рудных тел с вмещающими породами как резкие, так и постепенные, особенно в лежачем боку рудных залежей. Протяженность рудных залежей достигает 800 м, мощность 100 м.

Основными рудными минералами кемпирсайских месторождений являются 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 сростания. 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.

Руды — вкрапленные и сплошные. Среди вкрапленных руд выделяются густовкрапленные с содержанием хромшпинелидов 70—90%, средневкрапленные — 50—70%, редковкрапленные — 30—50% и убоговкрапленные — 10—30%. Процессами выветривания руды верхних горизонтов местами превращены в высокосортные (до 61% Cr_2O_3) рыхлые и порошокватые разности. Более ограниченным распространением в верхних горизонтах пользуются силифицированные (окремненные) руды, в которых первичные силикаты замещены кремнеземом и отчасти железными охрами. Сплошные руды содержат 45—54% Cr_2O_3 и 2—10% SiO_2 , соответственно густо вкрапленные — 44,1—43,4 и 10—15% (иногда и более). Содержание глинозема в рудах колеблется от 2 до 12%, окиси магния от 9 до 24%, окиси кальция — от «следов» до 5%, фосфора — от «следов» до 0,5%. В незначительных количествах в рудах присутствуют титан, ванадий, кобальт, марганец, сера.

Как видно, большинство мировых ресурсов хромитовых руд заключено в крупнейших массивах пород дунит-гарцбургитовой формации, приуроченных к протяженным зонам глубинных разломов. Остальные запасы хромитов связаны с многочисленными, но сравнительно небольшими месторождениями преимущественно убогих руд, приуроченных к массивам дунит-перидотитовой или дунит-пироксенит-габбровой формации, значительно меньших размеров.

Среди них по качеству руд особенно выделяются месторождения Турции, разработка которых позволила стране занимать до 1959 г.

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений хромитовых руд

Морфогенетический тип месторождений	Содержание, Cr ₂ O ₃ %	Разведанные запасы отдельных месторождений, млн. т	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горно-обогатительных предприятий, тыс. т сырой руды	
			открытой	подземной	в общих запасах		в добыче		при добыче открытым способом	при добыче подземным способом
					в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах		
Сегрегационные, пластообразные залежи вкрапленных и массивных руд значительной протяженности в стратифицированных комплексах дунит-гарцбургитовых интрузий	38—50	50—100	200	—	—	75	—	50	150—500	—
Крупные гистеромагматические пластообразные, линзообразные, реже трубчатые залежи вкрапленных и массивных руд, приуроченные к массивам дунит-гарцбургитовой формаций	44—53	20—100	200	600	95	—	94	—	350—950	250—1100
Гистеромагматические линзо-, гнездо- и жилообразные залежи преимущественно массивных руд среди массивов дунит-перидотитовых или дунит-пироксенит-габбровой формации	39—52	10—20	100	300	5	24	6	49	20—100	20—200
Валунчатые элювиальные и делювиальные россыпи вкрапленных и массивных руд	25—50	1—5	30	—	—	1	—	1	1—2	—

первое место по добыче хромитов в зарубежных странах. Наиболее интересные в практическом отношении месторождения сосредоточены в районе Гулеман и 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 приурочен к несерпентинизированным перидотитам, а другой локализуется в антигортитовом серпентините. Развита преимущественно массивные руды, которые состоят в основном из магнохромита и хромпикотита; среднее содержание в рудах окиси хрома составляет 50—52%, окиси железа 10—12%, окиси алюминия 13—14%, кремнезема 2—3%. Общие запасы руд наиболее крупного месторождения составляют до 1,5 млн. т. Запасы отдельных наиболее крупных хромитовых залежей достигают 30 тыс. т.

Широко распространены месторождения хромитов на Филиппинах, где по размерам запасов и добыче выделяется месторождение Масинлок (о. Лусон). Хромиты залегают среди саксонитов вблизи их контакта с оливинным габбро и образуют вдоль него пояс длиной 2,4 км. Главная рудная залежь овальной формы сложена вкрапленными и массивными рудами, в которых содержание окиси хрома редко превышает 48%. Как на этом, так и на других месторождениях Филиппин преобладают низкосортные вкрапленные руды с содержанием окиси хрома от 29 до 36%, реже до 48% (кремнезема 2—5%, закиси железа до 16%), пригодные только для огнеупорной промышленности. Залежи высокосортных металлургических руд с содержанием более 48% окиси хрома встречаются редко, преимущественно на месторождении Акодже, расположенном также на о. Лусон.

Принято выделять три генетических типа промышленных месторождений хромита — гистеромагматический, сегрегационный и выветривания. *Гистеромагматические* месторождения обычно представлены пластообразными или линзообразными, реже трубчатыми залежами преимущественно высококачественных руд, формирование которых происходило после кристаллизации материнских пород их постмагматических расплавов. К этому типу относятся кемпирсайские месторождения. *Сегрегационные* месторождения представлены в основном пластообразными залежами значительной протяженности (до нескольких километров) при ничтожной мощности (редко превышающей 1,5 м), преимущественно низкосортных руд, возникших в ходе становления стратифицированных комплексов гипербазитовых интрузий. К этому типу относятся месторождения ЮАР и Родезии. Месторождения *выветривания*, представляющие собой валунчатые элювиальные и делювиальные россыпи, пространственно связанные с коренными месторождениями и попутно с ними отрабатываются.

Из анализа приведенного выше материала следует, что среди разведанных месторождений хромитов выделяются четыре морфогенетических типа; три из них составляют основу хромитовой промышленности (табл. 3).

НИКЕЛЬ

Почти все мировые запасы никеля сосредоточены в месторождениях двух генетических типов — сульфидных медно-никелевых руд, пространственно и генетически связанных с основными и ультраосновными

интрузиями, и силикатных руд, приуроченных к коре выветривания серпентинитов.

Промышленные месторождения *сульфидных медно-никелевых руд* образовались в платформенных условиях и, за исключением месторождений Восточной Сибири (Норильский район) и ЮАР (Инсизва), генетически связаны с проявлениями докембрийского магматизма. Основные месторождения силикатных руд приурочены к кайнозойской, реже мезозойской, коре выветривания и образовались в результате выветривания в тропических условиях ультраосновных пород, которые представлены теперь серпентинитами.

По поводу генезиса месторождений сульфидных медно-никелевых руд существует ряд гипотез. Большинство исследователей рассматривают эти руды как продукты дифференциации собственно основной магмы и относят их к ликвационно-магматическому типу. При этом считают (А. Н. Заварицкий), что обособление сульфидов от силикатной магмы происходило в жидко-магматическую стадию, а кристаллизация их — в постмагматическую, после затвердевания материнской 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, окологрудные 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 десятки доли процента (редко до 1,5%), кобальта — сотые доли процента и имеется немного металлов платиновой группы. Характерен крупный размер рудных залежей: протяженность их 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 брекчиевые 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.

Подавляющее большинство разведанных запасов сульфидных медно-никелевых руд сосредоточено в Канаде, где находятся месторождения Садбери, и в Советском Союзе, где за последние годы в Норильском районе открыты и освоены промышленностью Октябрьское и Талнахское месторождения. Эти месторождения обеспечивают значительную часть мирового производства никеля.

Месторождения Садбери и ряд других промышленных месторождений Канады приурочены к протяженным зонам разломов, образова-

ние которых происходило после консолидации складчатых структур.

Месторождения района Садбери (рис. 18) приурочены к обширному дифференцированному блюдцеобразному интрузивному массиву длиной 56 км. Нижняя часть его сложена разностями норитового состава, верхняя — микропегматитами. Центральная часть массива покрыта вулканогенными и осадочными породами различного состава. Медно-нике-

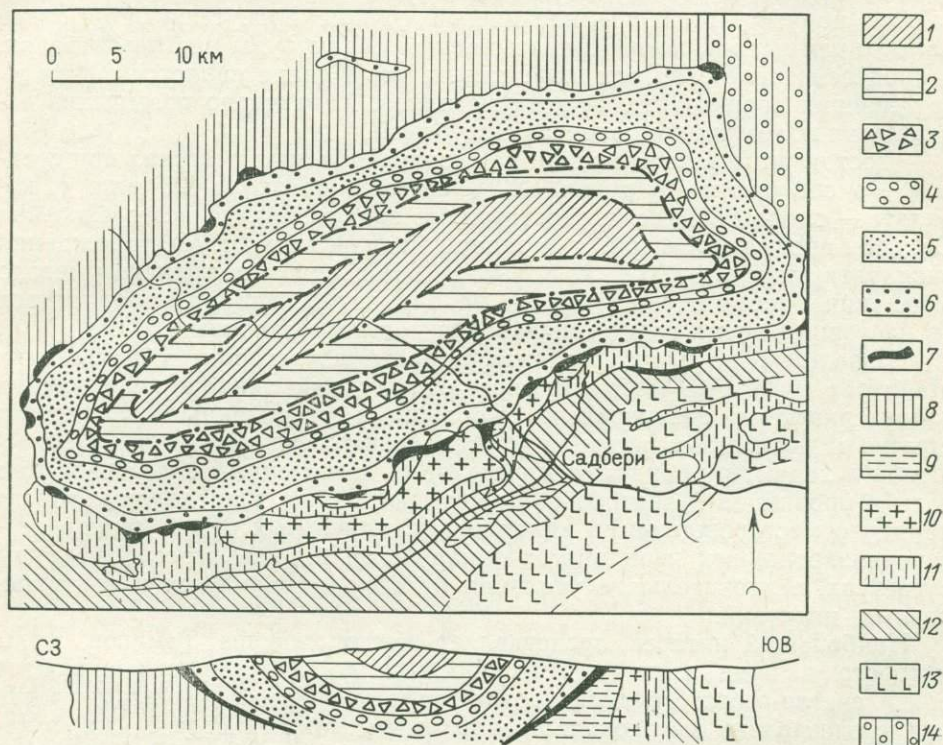


Рис. 18. Геологическая карта и разрез месторождения Садбери.

1 — хельмфордский песчаник; 2 — сланец оветин; 3 — туфы; 4 — конгломераты; 5 — оливковые 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

левое оруденение приурочено к ослабленным брекчированным зонам в краевых частях норитового окаймления массива. 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.

Сильфидные массивные и вкрапленные руды состоят из пентландита, пирротина, халькопирита, кубанита с небольшой примесью герсдорфита, маухерита, никелина, магнетита. Почти всегда присутствуют теллуриды 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 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. Содержание кобальта в рудах варьирует в широких пределах и по отдельным залежам колеблется от 0,06 до 1%, в среднем составляя 0,12%.

Кроме никеля, меди и кобальта, руды месторождений Садбери содержат золото, серебро, платиноиды, селен и теллур, которые извлекаются попутно. Металлы платиновой группы присутствуют в очень малых количествах, но перерабатываемый объем руды настолько велик, и процессы извлечения так эффективны, что Канада является одним из крупнейших производителей этих металлов. Характерно повышение содержания полезных компонентов с глубиной.

Достоверные запасы никеля на эксплуатируемых участках при среднем его содержании в рудах 1,27% составляют около 3,5 млн. т, кобальта — около 280 тыс. т. Достоверные запасы никеля всего бассейна Садбери превышают 4 млн. т, а запасы меди — 5 млн. т. Месторождения эксплуатируются с 1890 г., но только с 1904 г., после применения метода отделения никеля от меди, руды начали интенсивно разрабатываться (в настоящее время горные выработки достигли глубины 1600 м).

Известные в других районах Канады, в частности в провинциях Манитоба и Квебек, месторождения сульфидных медно-никелевых руд характеризуются сравнительно небольшими разведанными запасами: обычно 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, в значительном удалении от выходов основных и ультраосновных интрузий.

Наибольший интерес представляет месторождение Томпсон, руды которого в виде зоны протяженностью до 5 км прослеживаются среди светло-серых гранитизированных парагнейсов. Большая часть руд представлена высококачественными массивными разностями, в которых заключены мелкие угловатые, иногда округленные обломки вмещающих пород. Руды в основном сложены пирротином и пентландитом, в незначительном количестве встречается халькопирит.

На месторождении пройдено более 50 км подземных разведочных и горноподготовительных выработок, 585 км алмазного бурения с поверхности и 156 км подземного алмазного бурения. Запасы никеля составили 1,2 млн. т при среднем его содержании в рудах 1,89%. В незначительном количестве руды содержат медь (0,13%), золото, серебро и платиноиды.

В начале 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. долл.

К юго-востоку от месторождения Томпсон открыто месторождение Хембон Лейк, сульфидное оруденение которого приурочено также главным образом к гнейсам, но встречается и в прорывающих их серпентинитах.

В Советском Союзе известные месторождения сульфидных медно-никелевых руд сосредоточены в Норильском районе, на северо-западной окраине Сибирской платформы. Район переходный между ти-

пично 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. 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 титан-авгитового диабазового порфирита, ко второму — излияния различных по составу лав и интрузий пойкилофитовых долеритов. Наибольший практический интерес представляет третий цикл траппового вулканизма, который после излияния базальтовых лав завершился интрузиями дифференцированных габбро-диабазов и габбро-диоритов. С интрузиями габбро-диабазов пространственно и генетически связано сульфидное медно-никелевое оруденение, с габбро-диоритами — магнетитовое. К четвертому циклу относятся излияния лав и дайкообразные интрузии габбро-долеритов.

Рудоносные интрузии отличаются несимметрично-слоистым строением, обусловленным изменением их состава от богатых оливином пикритовых габбро-диабазов внизу до микрогематитовых пород вверху, локализуются в пределах относительно узкого стратиграфического горизонта, определяемого положением осадочных пород тунгусской серии. Пространственно интрузивы тяготеют к системе сбросов, образующей зону разлома большой протяженности.

Среди руд месторождения Норильск-I выделяются: 1) ликвационно-магматические — в виде сульфидной вкрапленности и шлиров в габбро-диабазовых; 2) инъекционные — в придонной части габбро-диабазовой интрузии и в подстилающих интрузию породах в виде сульфидных жил, линз и сопровождающей их вкрапленности; 3) контактово-инъекционные вкрапленные — 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 — пирротин, халькопирит, титаномагнетит, кубанит, минералы платиновой группы и др. Инъекционные вкрапленные руды, как и жильные, дополнительно содержат миллерит и пирит. Сингенетические вкрапленные руды образуют залежь значительной протяженности. 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 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 однообразными со шширами. Руды месторождения Норильск-I содержат 15 полезных компонентов.

В последнее время в Норильском районе открыты и разведаны Талнахское и Октябрьское месторождения. Пространственно и генети-

чески они связаны с Талнахской дифференцированной интрузией (рис. 19), 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 породы и редко к кровле интрузива приурочены сплошные и сопровождающие их богатые вкрапленные руды, образующие пластообразные залежи, линзы и жиллообразные тела. Пластообразные залежи прослеживаются на значительное расстояние.

Более широко развиты вкрапленные руды, представленные оруденелыми пирротитовыми, такситовыми, троктолитовыми габбро-диабазами и перидотитами. Они образуют придонные пластообразные 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 соотношением 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 к никелю кобальта в богатых рудах составляет 1:31, во вкрапленных — 1:32, в прожилково-вкрапленных — 1:27.

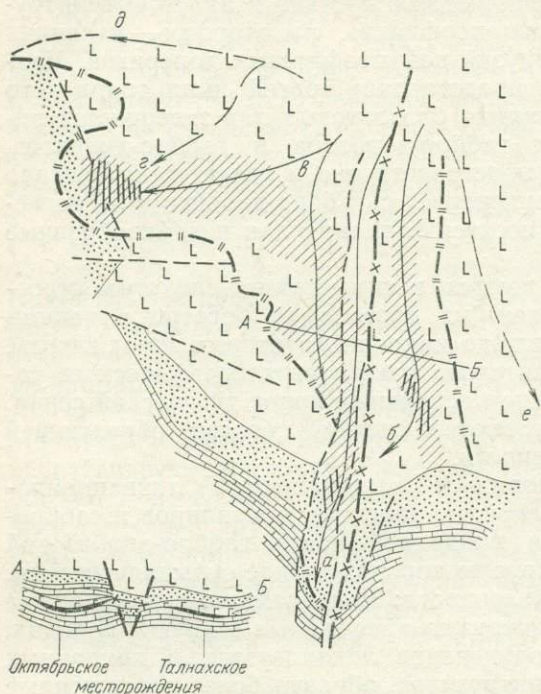


Рис. 19. Схема геологического строения Талнахского рудного поля.

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

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 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 колеблется от 400—500 до 1300—1600 м. Они характеризуются зональной структурой, обусловленной сменой от центра к периферии зон пирротина—кубанита—халькопирита—миллерита. Соотношение никеля и меди в богатых рудах месторождения составляет 1 : 2,5.

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

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

Месторождения Печенги генетически связаны с пластовыми интрузиями основных и ультраосновных пород, прорывающих комплекс зеленокаменных эффузивных и осадочных образований печенгской формации. Интрузивные тела отличаются удлинено-линзовидной формой и отчетливой дифференцированностью от перидотитов и пироксенитов (в лежащем боку интрузива) до габбро (в висячем боку). Обычно к лежащему 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.

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 заключено подавляющее большинство разведанных запасов никеля и меди. Протяженность их колеблется от нескольких метров до 2,5—3 км при мощности от 1 до 60 м. На глубину промышленное оруденение прослеживается до 1500 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.

Основными рудными минералами являются пирротин, пентландит, халькопирит и магнетит. Силикаты представлены главным образом серпентином, пироксеном, оливином, хлоритом и амфиболом. Кроме никеля и меди, в рудах содержатся кобальт и некоторые другие компоненты. 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 продуктивными являются межпластовые, интенсивно серпентинизированные перидотиты (гарцбургиты), залегающие среди гнейсов и амфиболитов (рис. 20). Промышленное оруденение представлено пластообразными залежами вкрапленных

руд и сплошными богатыми рудами, выполняющими крутопадающие трещины в интрузиве. Залежь вкрапленных руд Аллареченского месторождения имеет корытообразную форму, прослежена на протяжении 1060 м при мощности от 3 до 15—20 м. Эпигенетическое оруденение локализуется в полости крутопадающего сброса и оперяющих его трещи-



Рис. 20. 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

нах. Оно представлено жилами сплошных руд в интрузиве и вмещающих его гнейсах.

Месторождения Мончегорского рудного поля генетически связаны с плутоном (хонолитом) дифференцированных пород, в западной части плутона преобладают ультраосновные разности псевдослоистой текстуры, 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 виде 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-пирротинное 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.

За рубежом, помимо Канады, практически интересные промышленные месторождения сульфидных медно-никелевых руд известны в ЮАР и Австралии; все они характеризуются сравнительно небольшими размерами. В ЮАР по времени образования выделяются две группы месторождений. Одна из них генетически связана с докембрийскими интрузиями бушвельдского комплекса, другая — с интрузивами, залегающими среди осадочных свит системы карру. К первой относится месторождение Фланкфонштейн, занимающее площадь около 3 км²,

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.

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.

Среди месторождений второй группы, расположенных в Восточном Грикваленде, наиболее крупным представляется Инсизва, приуроченное к донной, богатой оливином части крупного силла долеритов. Донная залежь отделена от вмещающих пород так называемой «закаленной зоной» (гиперстенowymi габбро) мощностью 6—7 м. Оруденение представлено мелкой рассеянной вкрапленностью сульфидов, среди которых преобладает пирротин, или жилами и пластообразными залежами 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.

Во вкрапленных рудах суммарное содержание меди и никеля от 0,3 до 2%, в сплошных сульфидных рудах среднее содержание никеля 3—5%, меди — 3—20%. На поверхности руды окислены и фиксируются в виде «железных шляп».

Более крупными масштабами оруденения характеризуются месторождения Австралии, пространственно и генетически связанные с основным и ультраосновным докембрийским магматизмом.

Рудные залежи месторождения Камбалда имеют преимущественно пластообразную форму, 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 небольших количествах — пирит. В рудах присутствуют платиноиды, золото и другие полезные компоненты. Общие запасы руд оцениваются в 100 млн. т при среднем содержании никеля 3%. Запасы разведанного другого месторождения оценены в 120 млн. т руды, содержащей 2% никеля.

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 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%.

Месторождения Новой Каледонии расположены в юго-восточной части острова и приурочены к третичной коре выветривания (повидимому, олигоценовых серпентинизированных перидотитов), распространенной на площади 6—7 тыс. км² при мощности 50—100, 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) гарниерит-серпентинитовой зоной, в которой гарниерит составляет цемент брекчии и образует прожилки и жилы мощностью до 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 залежей колеблется от 1,8 до 9 м. Залегают они обычно на глубине от 3 до 9 м.

Основными никель- и кобальтсодержащими минералами являются 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 в 28 млн. т, разведанные — в 22 млн. т. Руды характеризуются высоким содержанием кобальта, запасы которого определяются в 390 тыс. т, в том числе 200 тыс. т в рудах, содержащих 0,2% металла.

Интенсивная эксплуатация никелевых руд началась в Новой Каледонии в 1876 г. В течение 25 лет страна являлась крупнейшим поставщиком никелевого сырья, но затем вынуждена была уступить это место Канаде. Добыча производится преимущественно открытым способом, редко глубже 50 м от поверхности.

Известные на Кубе месторождения никеля и кобальта связаны с латеритными железными рудами, которые образовались в результате выветривания основных пород в тропических условиях. Остаточные образования различной мощности, представляющие собой смесь окислов железа, гидроокиси алюминия, высокоглиноземистых глин с небольшими примесями никеля, хрома, кобальта и марганца, широко распространены во многих районах страны. Наиболее благоприятными для их образования оказались районы широкого развития серпентинизированных перидотитов.

Особенно широко распространены эти руды на северном побережье провинции Ориенте, где рудные залежи мощностью от нескольких до 25—30 м прослеживаются на десятки километров. Только в пределах района Майари-Баракои кора выветривания серпентинитов занимает площадь 120×30 км. Крупные площади распространения латеритных руд и связанные с ними промышленные месторождения никеля и кобальта известны и в других провинциях Кубы — Камагуэй и Пинардель-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, залегают 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 очень изменчивы. На месторождении Моа мощ-

ность 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 (рис. 21), имеющих нередко гнездообразную форму, изменяется от 0,3 до 30 м (средняя — 2,4 м).

Наиболее крупные месторождения Индонезии (Малили и Помалеа) расположены в юго-восточной части о. Сулавеси и приурочены к коре выветривания гарцбургитов. Силикатные никельсодержащие руды в форме обширных плащеобразных залежей перекрыты маломощными (до 5 м) слоями рыхлых латеритных образований. Запасы никеля мес-

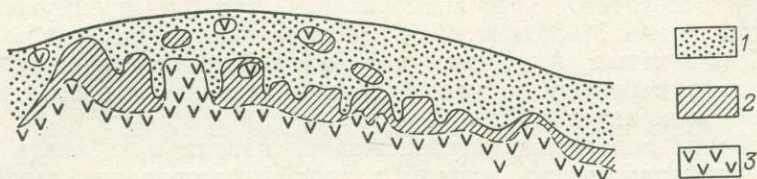


Рис. 21. Месторождение Никаро.

1 — никельносные латериты; 2 — оруденелый выветрелый серпентинит; 3 — серпентинит по перидотиту

торождений Малили составляют 2,5 млн. т и Помалеа — 1,1 млн. т при среднем содержании металла в рудах соответственно 4,9 и 2,4%. Силикатные руды никеля разведаны и на ряде других островов Индонезии. Содержание в них никеля колеблется от 1,1 до 1,6%, на отдельных участках — до 4%.

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 распространен на площади около 45 км². Руды связаны постепенными переходами с подстилающими серпентинитами. Руды в основном бедные: среднее содержание никеля 0,79% при содержании железа 47,55%. В разведанных месторождениях более богатых руд среднее содержание никеля 1,1—1,7%, иногда более 2,2%; среднее содержание кобальта 0,08%. Наиболее крупным является месторождение Восточное Давао с запасами 2,1 млн. т никеля при среднем содержании его в руде 1,29% и кобальта — 0,06%. Запасы никеля месторождения Лонг-Пойнт-Баронг, расположенном 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%.

В Доминиканской Республике силикатное никелевое оруденение в отрогах Центральной Кордильеры прослежено на площади 8 тыс. км². Общие запасы этих руд оцениваются в 100 млн. т при среднем содержании в них никеля 1,55%. Ряд месторождений латеритных руд выявлен также в Пуэрто-Рико. Мощность продуктивного горизонта на исследованных площадях колеблется от 3 до 15 м. Среднее содержание в рудах никеля составляет 0,88%, кобальта — 0,09%.

Сравнительно широко проявились процессы латеритного выветривания на территории Китая. В южной части провинции Юньнань разведаны месторождения силикатных никелевых руд, приуроченных

к коре выветривания серпентинитов. Последние представляют собой продукт изменения яньшаньских (верхнемезозойских) ультраосновных интрузивных пород. Мощность коры выветривания составляет 60 м, содержание никеля в рудах колеблется от 0,5 до 2,2%.

В Африке до настоящего времени не выявлены промышленные месторождения силикатных никелевых руд, хотя геологические условия для их формирования, несомненно, являются весьма благоприятными, о чем свидетельствует широкое распространение латеритной коры выветривания и разнообразных ультраосновных пород.

В Советском Союзе основные запасы силикатных руд приурочены к мезозойской коре выветривания, развитой преимущественно на Южном Урале. Месторождения в Центральном и Восточном Казахстане, Прибалхашье, Алтайском крае и на Украине характеризуются сравнительно 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. Она развита на значительных участках водораздельных плато или в виде плаща или неправильными пятнами, сохранившимися после размыва. В нижней части кора представлена 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.

Выделяются два типа силикатных промышленных руд: железистый и магнезиальный. Железистые руды, характеризующиеся повышенным содержанием кобальта, заключенного в асболонах, 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.

Среднее содержание никеля в рудах отдельных месторождений находится в пределах 0,65—0,90%, редко превышает 1%; соответственно кобальта — 0,02—0,06%, редко до 0,09—0,1%.

Среди разведанных в мире месторождений никелевых руд выделяются три морфогенетических типа, из которых два составляют основу никелевой промышленности (табл. 4).

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений никеля

Морфогенетический тип месторождений	Содержание никеля, %	Разведанные запасы отдельных месторождений, тыс. т никеля	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах, %		Годовая производительность горнообогатительных предприятий, тыс. т			
			открытой	подземной	в запасах	в добыче	при добыче открытым способом		при добыче подземным способом	
							руда	никель	руда	никель
Пластообразные и линзообразные залежи сингенетических медно-никелевых массивных и вкрапленных сульфидных руд в основных и ультраосновных породах	0,5—2,0	800—2000 и более	200	2000	36	61	600—1000	5—10	500—5000	5—50
Сложной формы жилы, линзы и гнезда эпигенетических, преимущественно сплошных и брекчиевых сульфидных руд в основных и ультраосновных породах	0,7—3,0	300—1100	70	600	3	2	100—200	1—2	200—1000	2,5—15
Пластообразные, линзообразные и сложной формы залежи силикатных руд, приуроченных к коре выветривания ультраосновных пород	1,1—2,0	100—2000 и более	50—100	—	61	37	100—1500	1—20	—	—

МОЛИБДЕН

Основные мировые ресурсы молибдена сосредоточены в сравнительно небольшом количестве крупных месторождений, к которым относятся кайнозойские месторождения Северной и Южной Америки, мезозойские месторождения Канады, Китая и ряд месторождений разного возраста в СССР.

Большая часть мировых запасов молибдена заключена в штокверковых месторождениях *собственно молибденовых руд*, которые отличаются крупными масштабами оруденения (сотни тысяч тонн металла, иногда более 1 млн. т) при среднем содержании молибдена от первых сотых до первых десятых долей процента. К этому типу относится крупнейшее в мире месторождение Клаймакс, расположенное в юго-западной части США, где находится богатейшая провинция развития промышленного молибденового и молибдено-медного оруденения, охватывающая значительную часть штатов Колорадо, Юта, Аризона и Нью-Мексико. Рудное поле находится на высоте 3700 м и сложено интенсивно брекчированными, окварцованными, пиритизированными и серицитизированными докембрийскими гранитами и отчасти кристаллическими сланцами.

В непосредственной близости от месторождения проходит мощный сброс Москито с амплитудой смещения до 1500 м, прослеженный на протяжении десятков километров, и обнажаются гранит-порфиры и монцит-порфиры миоценового возраста. С ними генетически связывается оруденение в форме штокверка с отчетливо выраженной горизонтальной концентрической зональностью. Кроме кварца и молибденита, прожилки мощностью до 5 см содержат ортоклаз, серицит, флюорит, топаз, пирит, халькопирит, сфалерит, гюбнерит, касситерит и монацит. Глубина промышленного оруденения достигает 800 м, зона окисления в местах интенсивной трещиноватости распространяется до глубины 150 м. Из вторичных минералов здесь развиты лимонит, молибдит, ярозит, борнит и халькопирит. В прошлом среднее содержание молибдена в разрабатываемых рудах составляло 0,3—0,4%, постепенно оно снизилось до 0,21% при содержании трехокси вольфрама 0,03%. До 1973 г. на месторождении добыто 642 тыс. т молибдена, а оставшиеся его достоверные и вероятные запасы составляют 570 тыс. т.

Кроме того, месторождение располагает значительными запасами бедных руд, в которых содержание молибдена ниже 0,1%. При обогащении руд, кроме молибденитового концентрата, выделяется продукт, содержащий 50% пирита и 1% трехокси вольфрама, из которого путем последующей флотации получают товарные концентраты — пиритовый с содержанием серы 50% и вольфрамитовый — с 65% трехокси вольфрама. Выделяется также небольшое количество монацита, золота и товарный оловянный концентрат. Месторождение интенсивно разрабатывается шахтами, обеспечивающими суммарную суточную добычу в 46 тыс. т руды. В 1973 г. подготовлен новый эксплуатационный горизонт на глубине 600 м. Предполагалось довести добычу руды до 52 тыс. т в сутки. Несмотря на исключительно тонкую вкрапленность молибденита, извлечение его в концентрат превышает 90%.

К югу от месторождения Клаймакс 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 анде-

зиты, риолиты и прорывающие их дайки гранит-порфиров и кварцевых порфиров в различной степени насыщены тонкими кварц-молибденитовыми прожилками, а также пленками и примазками молибденита. Встречаются более мощные кварцевые жилы, в которых помимо молибдена присутствуют полевой шпат, биотит и в подчиненном количестве — халькопирит, сфалерит, галенит, родохрозит и флюорит. Достоверные и вероятные запасы молибдена определены в 140 тыс. т при среднем его содержании в руде 0,104%. Более крупными запасами (890 тыс. т молибдена) и более богатыми рудами (0,294%) характеризуется разведенное в последнее время в штате Колорадо месторождение Гендерсон. Штокверковое оруденение приурочено к контактовой зоне штока миоценовых монзонит-порфиров с докембрийскими гранитами и сланцами. Верхняя граница зоны находится на глубине 700 м от дневной поверхности.

Всего до 1974 г. из штокверковых руд в США добыто 692 тыс. т молибдена, а достоверные его запасы в рудах этого типа составляют в сумме 2077 тыс. т.

Ряд крупных месторождений штокверковых молибденовых руд разведан и освоен промышленностью в Британской Колумбии в Канаде. Из них наиболее значительным представляется месторождение Эндако, приуроченное к верхнеюрскому массиву кварц-монзонитов. Оруденение прослежено на глубину 300 м на протяжении 3500 м при ширине 380 м. Оно проявлено в форме мелких (до 70 мм) прожилков и более крупных (0,25—1,25 м) субпараллельных полосчатых жил, содержащих, кроме кварца и молибденита, также пирит и магнетит. На месторождении добыто более 60 тыс. т молибдена, а достоверные и вероятные его запасы составляют в сумме 165 тыс. т при среднем содержании в рудах 0,087%. Другим сравнительно крупным штокверковым месторождением является Руби-Крик, оруденелые кварц-монзониты развиты там на площади 450×900 м и прослеживаются на глубину до 300 м. Общие запасы молибдена оценены в 90 тыс. т при его содержании в руде 0,098%. Более высоким содержанием молибдена (0,12%) характеризуются штокверковые руды месторождения Алис-Арм, также приуроченные к массиву кварц-монзонитов. Достоверные и вероятные запасы молибдена составляют здесь 87 млн. т.

Месторождения штокверковых молибденовых руд, большая часть которых пригодна к открытой разработке, выявлены и разведаны в ряде районов Советского Союза. В Красноярском крае они связаны с магматической деятельностью салаирской фазы складчатости. Минерализация проявилась в форме кварцевых жил и брекчированных штокверко-вкрапленных участков, приуроченных к зонам тектонических нарушений в самих интрузивных породах. В зоне первичных руд развиты молибденит, пирит, халькопирит, реже сфалерит и галенит. Нерудные минералы представлены кварцем, ортоклазом, флюоритом и карбонатами. В зоне окисления преобладают ферримолибдит, повеллит, гидрокислы железа и вторичные минералы меди.

С позднегерцинским (пермским) магматизмом генетически связываются штокверковые месторождения Центрального Казахстана. Они часто располагаются в экзоконтакте интрузивов, и в связи с этим не всегда обнаруживается непосредственная связь оруденения с массивами гранитоидов. Вмещающими породами служат в той или иной степени гидротермально измененные (окварцованные, ороговикованные, серицитизированные, реже хлоритизированные и эпидотизированные) песча-

ники, сланцы, эффузивы и туфы. Наиболее интенсивное оруденение приурочивается преимущественно к дайкам фельзит-порфиров, прорывающих рудоносную толщу; в этих случаях оно сопровождается грейзенизацией, хлоритизацией и березитизацией вмещающих пород.

Морфология рудных штокверков весьма разнообразна. Часто они представляют собой полого- и крутопадающие рудные тела изометричной в плане формы. Состоят штокверки из кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков с молибденитом, шеелитом, реже вольфрамитом и сульфидами железа, свинца и цинка. В завершающей стадии минерализации образовались кальцит-цеолитовые прожилки. Прожилково-вкрапленное оруденение развивается на значительных площадях и пригодно для открытой разработки. Содержание молибдена в рудах колеблется от 0,01 до 0,3%.

Мезозойский возраст имеют молибденовые месторождения Забайкалья. Формирование их происходило в условиях платформенных структур, главным образом в районах их сочленения с мезозойскими складчатыми образованиями. Для молибденоносных районов характерно двухъярусное строение: нижний ярус сложен в основном домезозойскими гранитоидами, прорывающими древние метаморфические комплексы, верхний ярус — вулканогенными и осадочными образованиями преимущественно юрского возраста.

Все месторождения молибденита, за редким исключением, связаны с гранитоидными породами, в их локализации исключительно отчетливо проявляется роль разрывных тектонических нарушений — крупных 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, приуроченность даек, штоков и рудных тел к единым системам дизъюнктивных нарушений, а также характер их взаимоотношений не оставляют сомнения в принадлежности всех этих образований интрузивному циклу.

Промышленные месторождения молибденита образовались в основном в мезотермальную фазу гидротермального процесса и все они относятся к кварц-серицит-молибденитовой формации. Из рудных минералов кроме молибденита присутствуют пирит и халькопирит, редко встречаются галенит, сфалерит, висмутин, шеелит, арсенопирит, антимонит, блеклые руды, 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.

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 в ряде случаев основное промышленное значение приобретает штокверковое оруденение, распространенное на значительных площадях и прослеженное на глубину до 600 м без признаков истощения.

Месторождения штокверкового типа Китая приурочены к окварцованным и серицитизированным гранитоидам яньшаньского 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 в них обогащенные полосы. В состав жильных минералов входят кварц, полевой шпат, серицит, редко флюорит. Гранитоиды иногда интенсивно окварцованы, серицитизированы, изредка превращены в кварц-мусковит-флюоритовые грейзены, несущие более позднее молибденовое оруденение.

На месторождении прожилково-вкрапленных молибденовых руд в провинции Шаньси выделяются пять последовательных стадий минерализации: молибденит-кварцевая, молибденит-пирит-кварцевая, молибденит-пирит-халькопирит-кварцевая, халькопирит-кварц-карбонатная и сфалерит-галенит-кварц-карбонатная. Оруденение прослеживается на глубину до 800 м. Преобладают руды, содержащие в среднем 0,5—0,8% молибдена, реже 0,1—0,15%.

В последние годы резко возросла доля меднопорфировых *молибдено-медных и медно-молибденовых руд* в мировых ресурсах молибдена и в мировой его добыче и эта тенденция будет продолжаться в связи с большими перспективами выявления и промышленного освоения крупных месторождений этого типа руд во многих странах. За истекшие десять лет в капиталистических и развивающихся странах удельный вес их в достоверных и вероятных запасах молибдена возрос с 14 до 32%, а в суммарной добыче — с 26 до 31%. Содержание молибдена в рудах обычно невысокое, от первых тысячных до 0,03%, редко 0,1%. Молибден в этих рудах отличается повышенным содержанием рения, кроме того, руды нередко содержат в заметных концентрациях пирит, иногда золото и серебро. К медно-молибденовому типу можно отнести месторождение Итака-Пик в США, в рудах которого содержание меди составляет 0,6—0,7%, а молибдена 0,05—0,076%, а также открытые в Канаде многочисленные месторождения, общие запасы молибдена в которых превышают 300 тыс. т.

В СССР месторождения этого типа известны в Закавказье (Каджаран, Агарак). Они занимают большие площади и прослеживаются на значительную глубину (до 500 м). Первичные руды, кроме халькопирита и молибденита, содержат небольшие или совсем ничтожные количества пирита, гематита, магнетита, сфалерита, галенита, борнита, блеклой руды, энаргита, арсенопирита, аргентита и медно-висмутовых минералов. Помимо прожилково-вкрапленных руд развиты также кварцевые жилы (мощностью до 1—2 м) с молибденитом и халькопиритом. Содержание молибдена в прожилково-вкрапленных рудах колеблется от 0,03 до 0,15%, в жилах — от 0,5 до 1,5%. Характерно слабое развитие зон окисления и вторичного сульфидного обогащения.

При существующих методах обогащения меднопорфировых руд извлечение меди в одноименный концентрат колеблется от 76 до 90%, молибдена — от 35 до 60%, редко достигая 85% (Бренда). Однако, учитывая, что молибден получается попутно с медью при сравнительно низких издержках обогащения, извлечение его является экономически весьма рентабельным*.

* Более подробные данные о месторождениях меднопорфировых руд приведены в разделе «Медь».

Промышленные месторождения *скарновых собственно молибденовых руд* встречаются редко, и практическое значение их невелико. Обычно в скарнах основным ценным компонентом является вольфрам, а молибден извлекается попутно. Месторождения скарнов, в которых молибден относится к числу основных полезных компонентов, разрабатываются в Китае и Советском Союзе.

В Китае наиболее характерным представителем этого генетического типа является месторождение Янцзи-Чжанцзы. Оно представлено шестью-семью рудными телами — скарновыми полосами среди известняков кембрия вдоль контакта с прорывающими их гранитами условно яньшаньского возраста. Протяженность рудных тел по простиранию 100—600 м при мощности от 1—2 до 25—30 м и содержании молибдена 0,1—0,3%. Месторождение разведано до глубины 500—600 м.

В СССР молибденоносные скарны Тырнаузкого месторождения представлены двумя минералогическими типами руд, слагающими отдельные участки — собственно молибденовыми и молибден-вольфрамовыми. Рудные скарны месторождения сложены в основном пироксеном, гранатом и кварцем, содержат в переменных количествах молибденит, шеелит, халькопирит, сфалерит, арсенопирит.

Наибольшая концентрация оруденения наблюдается в пироксен-гранат-плагноклазовых скарнах в некотором удалении от контакта с интрузией гранита, в мраморах и биотитовых роговиках. Ранее отложившийся и преобладающий в рудах шеелит приурочен преимущественно к пироксеновому скарну, молибден связан с более поздним гранатом, но в основной массе — с кварцем, прожилки которого прорезают скарны и роговики. С глубиной содержание шеелита возрастает, валовое содержание молибдена сохраняется. Около 55% всего молибдена заключено в молибдените и до 45% приходится на долю шеелита (около 30%) и повеллита (около 15%).

Молибден, заключенный в кристаллической решетке шеелита, образует соединение $\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$, т. е. минерал зейригит, или молибдошеелит, в котором шестивалентный молибден является первичным.

В стране известны также скарновые молибдено-медные месторождения, но они обычно характеризуются небольшими размерами рудных залежей и низким содержанием молибдена.

Наиболее широко распространены *жильные* месторождения молибдена, которые, хотя и отличаются от других промышленных типов месторождений более богатыми рудами (0,3—0,5 и даже 1—2%), но имеют очень небольшие запасы (первые тысячи тонн металла, редко — до 10—12 тыс. т) и неблагоприятные горнотехнические условия разработки. Удельный вес этих руд в разведанных мировых запасах и добыче неизменно снижается. Разработка даже богатых руд жильных месторождений, учитывая необходимость применения дорогостоящих подземных систем при небольшом масштабе добычи, является менее рентабельной, чем разработка других типов молибденовых месторождений. Так, в последнее время в США прекратилась разработка одного из крупнейших в мире жильных месторождений Квеста-1.

Весьма широко жильные месторождения молибдена распространены в СССР, особенно в Забайкалье, где во многих районах наблюдается пространственная ассоциация молибденовых и золоторудных месторождений. В рудах ряда месторождений золото и молибден совместно присутствуют в промышленных концентрациях, но чаще всего они встречаются в обособленных месторождениях, по-видимому, весьма близких

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений молибдена

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдельных месторождений, тыс. т молибдена	Содержание молибдена, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах		Годовая производительность горнообогатительного предприятия, тыс. т	
			открытой	подземной	в разведанных запасах	в добыче	руда	молибден
Гидротермальные штокверки молибденовых и вольфрам-молибденовых прожилково-вкрапленных руд	50—250	0,06—0,3	300	1000	66	66	3000—10000	3,5—2,5
Гидротермальные штокверки молибдено-медных (медно-порфировых) и медно-молибденовых прожилково-вкрапленных руд	25—300	0,005—0,06	600	600	32	31	500—10000	0,8—5,0
Метасоматические вольфрам-молибденовые и медно-молибденовые скарны в форме пластообразных, линзообразных, трубчатых и гнездовых залежей	5—200	0,05—0,4	300	1000	1	11	300—3000	0,6—1,5
Гидротермальные молибденовые и вольфрам-молибденовые жилы и жильные зоны	5—15	0,3—4,0	—	300	1	2	50—150	0,4—1,2

по времени формирования. Главным жилообразующим минералом является кварц, который часто слагает рудные тела совместно с турмалином, реже с карбонатами. Из рудных минералов, кроме молибденита, присутствуют пирит и халькопирит, изредка встречаются галенит, сфалерит, висмутин, шеелит, арсенопирит, антимонит, блеклые руды, сложные сурьмяно-висмутовые минералы, буланжерит, борнит, магнетит и гематит. В ряде месторождений они образуют относительно высокие концентрации; часть из них представляет практический интерес. Молибденит нередко содержит в качестве изоморфной примеси рений.

Мощность рудных жил колеблется от 0,2 до 0,5 м, редко превышает 1 м. Длина их по простиранию обычно составляет сотни метров, но иногда достигает 1—1,5 км.

В Центральном Казахстане преобладают жильные месторождения кварц-вольфрамит-грейзеновой формации, в которых молибденит присутствует в качестве одного из главных рудных минералов. Месторождения представлены кварцевыми жилами в позднегерцинских лейкократовых гранитах или развитыми в их экзоконтактах зонами штокверковых руд в липаритовых порфирах, песчаниках и алевролитах.

Небольшие месторождения жильных молибденовых руд известны в ряде других стран и немногие из них разрабатываются. В мировой добыче молибдена доля этого типа месторождений менее 3%.

Среди разведанных месторождений молибдена могут быть выделены четыре морфогенетических типа (табл. 5), составляющие основу молибденовой промышленности.

ВОЛЬФРАМ

Месторождения вольфрама широко распространены во многих странах, но сравнительно редко они отличаются крупными масштабами оруденения и запасами металла, превышающими десятки тысяч тонн. Месторождения представлены весьма разнообразными рудными формациями, минеральными типами и имеют различную форму рудных тел.

Наиболее широко распространены *жильные* месторождения, представленные десятками, реже сотнями рудных тел, в которых содержание WO_3 колеблется от десятых долей до нескольких процентов, обычно по разрабатываемым месторождениям оно составляет 0,5—1,5%. Наряду с вольфрамом руды многих месторождений содержат в переменных количествах олово и молибден, иногда висмут (до 4—6%), сурьму (3—4%), бериллий (0,08—0,1%) и золото.

Запасы большинства месторождений — первые тысячи тонн вольфрама, лишь на немногих — первые десятки тысяч тонн и более.

Рудные поля отдельных месторождений включают большое количество жил, часто образующих промышленные жильные зоны. Так, в СССР расположенные в Джунгаро-Балхашской области месторождение Акчатау включает более 300 жил, месторождение Караоба — около 100 жил. Мощность жил от первых десятков сантиметров до первых метров, протяженность по длине от первых десятков метров до 2 км, по падению — от десятков до 1200—1400 м.

Разработка месторождений производится подземным способом при сравнительно высокой себестоимости добычи. Крупные рудные жилы являются самостоятельными объектами эксплуатации. Сближенные жилы обрабатываются на массу всей зоны. По данным мировой прак-

тики, минимальная суточная производительность горнообогатительных предприятий колеблется от 50 до 100 т руды, средняя — от 200 до 300 т и максимальная — от 500 до 1000 т руды. Руды месторождений этого типа в основном хорошо обогащаются гравитационными и магнитными перемещениями, извлечение вольфрама составляет 60—75%. Из руд часто извлекаются другие полезные компоненты.

Наиболее крупные провинции развития жильных месторождений вольфрама, преимущественно вольфрамит-кварцевой формации, расположены в Китае, Советском Союзе, странах Малаккского полуострова, Португалии, Испании.

В Китае месторождения сосредоточены в юго-восточной части страны, где они локализируются в пределах обширного пояса субширотного простирающегося, прослеженного на протяжении сотен километров в пределах горного сооружения Наньлинь. Это крупнейший в мире район концентрации жильного вольфрамитового и касситеритового оруденения. Месторождения генетически связываются с интрузиями верхнемезозойских (яньшаньских) гранитоидов, прорывающих и метаморфизирующих угленосные свиты фучзяна (лейас), а также риолиты, залегающие на отложениях нижнего мела. На размытой поверхности гранитов залегают нижнетретичные породы (эоцен), содержащие в базальных конгломератах гальку гранитов. Преобладают биотитовые разновидности гранитов, часто грубопорфировидной структуры. Гранодиориты и граносиениты имеют подчиненное значение. Обычно граниты сопровождаются дайками гранит-порфиров и аплитов. Для некоторых интрузивов характерно развитие пегматитовых даек, приуроченных к периферическим частям массивов.

Кроме жильных месторождений в этом регионе встречаются крупные месторождения скарновых и штокверковых руд вольфрама, а также грейзены, менее интересные в практическом отношении. Главным рудообразующим минералом является кварц с небольшой примесью мусковита, литиевой слюды, ортоклаза, флюорита, реже альбита, серицита, хлорита и кальцита. Основной рудный минерал представлен вольфрамитом, иногда гюбнеритом и редко шеелитом. Обычно руды содержат также касситерит, пирит, висмутин, арсенопирит, молибденит, станнин и берилл.

Различаются два основных типа руд: 1) вольфрамит-кварцевые, в которых содержание кварца составляет 90—97% и, кроме вольфрамитов, присутствует касситерит, и 2) кварц-сульфидные, содержащие 85—90% кварца и включающие, помимо вольфрамитов, разнообразный комплекс сульфидных минералов. Реже встречается кварц-берилл-топазовый тип минерализации, где наряду с кварцем широко развиты берилл и топаз. Предполагается, что вольфрамит-кварцевые жилы генетически связаны с наиболее кислыми биотитовыми гранитами, а кварц-сульфидные — с наиболее основными дифференциатами гранитной магмы, в частности, с гранодиоритами.

В жильных месторождениях касситерит-кварцевой формации касситерит часто ассоциирует с вольфрамитом и в зависимости от содержания этих минералов различаются многочисленные разновидности руд — от собственно касситеритовых до чисто вольфрамитовых.

Вольфрамит-кварцевые и касситерит-кварцевые жилы локализируются преимущественно в песчаниках, сланцах и филлитах вблизи их контакта с интрузиями, реже — в значительном отдалении от них (до нескольких километров), а также в апикальных частях самих интрузий. В место-

рождениях касситерит-кварцевой формации отмечается концентрация вольфрамита непосредственно в приконтактовых зонах интрузивов и уменьшение его количества по мере удаления от контакта при одновременном увеличении содержания касситерита.

Среди нескольких сотен месторождений вольфрамит-кварцевых руд, известных в Юго-Восточном Китае, лишь немногие отличаются крупными масштабами оруденения и запасами, превышающими первые десятки тысяч тонн металла. Рудные поля месторождений заключают от нескольких десятков до нескольких сотен рудных жил (часто крутопадающих), образующих зоны протяженностью до 1500—2000 м при ширине 200—300 м. По отдельным рудным полям среднее содержание триоксида вольфрама колеблется от 0,5 до 2,5% при мощности жил от 0,6 до 2,0 м.

Вольфрамо-оловянный пояс Юго-Восточного Китая прослеживается в Малайзию и Индонезию, где жильные месторождения касситерит-кварцевой и вольфрамит-кварцевой формаций генетически связаны с киммерийскими лейкократовыми порфиroidными биотит-мусковитовыми гранитами. С гранитными интрузиями мелового возраста генетически связаны многочисленные месторождения вольфрамит-кварцевого типа Корейского полуострова.

К мезозою, вероятно, относятся мелкие месторождения вольфрама Канадского щита. В провинциях Онтарио и Британской Колумбии Канады они представлены золото-шеелитовыми жилами, в северо-западных районах — золото-ферберитовыми жилами и линзами с магнетитом, гематитом, ильменитом, халькопиритом и молибденитом.

Многочисленные месторождения вольфрама жильного типа разведаны в ряде районов Советского Союза. В Забайкалье и на Дальнем Востоке они, как в Китае и странах Малаккского полуострова, генетически и пространственно связаны преимущественно с верхнемезозойским магматизмом, в основном с кислыми и ультракислыми гранитами. Преобладают месторождения касситерит-кварцевой формации, в рудах которых содержание вольфрама нередко превышает содержание олова, вплоть до перехода к месторождениям вольфрамит-кварцевых руд. В отдельных месторождениях они обогащены сульфидами (до 20—30%), представленными сфалеритом, халькопиритом, блеклыми рудами, пиритом и пирротином.

Для месторождений вольфрамит-кварцевых руд больше, чем для месторождений касситерит-кварцевых, характерна ассоциация с кварцевыми, слюдяно-кварцевыми и кварц-топазовыми грейзенами с вкрапленной и прожилковой минерализацией. Наряду с вольфрамом грейзены нередко содержат в промышленных концентрациях молибден, олово и висмут. Хотя они характеризуются обычно низким содержанием полезных компонентов, в них заключены большие запасы руд, пригодных для открытой добычи, и некоторые месторождения этого типа, несомненно, представляют промышленный интерес.

В Забайкалье встречаются также месторождения вольфрама, в которых наблюдается сочетание таких минералов, как ферберит, шеелит, антимонит и киноварь. Это месторождения посленижнемелового возраста. Рудные тела приурочены к зонам интенсивных тектонических нарушений, где они располагаются вне видимой связи с интрузивными породами.

Многочисленные месторождения вольфрамит-кварцевых жил выявлены в Центральном Казахстане, где они приурочены к герцинским био-

титовым порфиридовидным гранитам. Преобладают мало интересные в практическом отношении мелкие месторождения. По масштабу и качеству руд выделяются два месторождения — Акчатау и Караоба (рис. 22). Среди жил выделяются кварцевые, кварц-полевошпатовые, кварц-топазовые и слюдяно-кварцевые разности. Они сопровождаются грейзеновыми оторочками, грейзеновыми и штокверковыми зонами. Наряду с вольфрамом руды содержат молибденит, касситерит, вис-

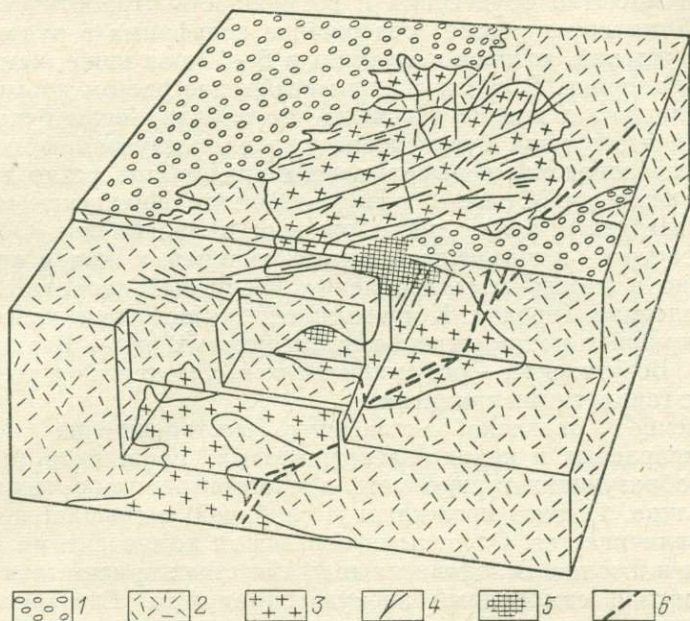


Рис. 22. Блок-диаграмма Караобинского месторождения. По А. Строганову.

1 — наносы; 2 — туфы и лавы; 3 — граниты; 4 — рудные жилы; 5 — грейзеновое рудное тело; 6 — разрывные нарушения

мутин и пирит. Мощность жил колеблется от 5 см до 1 м, грейзеновых зон — от 1 до 30 м.

Верхнепалеозойские месторождения вольфрамит-кварцевых и касситерит-кварцевых руд, представленных главным образом жилами, часто в ассоциации с зонами грейзенов и штокверков, сравнительно широко распространены в Монголии, Австралии, Аргентине, Португалии, Испании, ГДР, Чехословакии. Преобладают небольшие месторождения и суммарная доля их в мировых ресурсах и мировом производстве вольфрамовых концентратов ничтожна.

Невелика также роль кайнозойских жильных месторождений в мировых запасах и добыче вольфрама. Большинство этих месторождений находится в Боливии, Перу и Чили. В Боливии они расположены главным образом в северной части обширной оловоносной провинции, приуроченной к складчатой зоне Анд и Срединных Кордильер. Здесь широко распространены как пегматит-кварцевые жилы с вольфрамитом, ферберитом, гюбнеритом, шеелитом и сульфидами, так и кварц-сульфидные жилы с шеелитом, пиритом и самородным золотом. Мощность жил обычно составляет 0,3—1 м, среднее содержание в них трехоксида вольфрама варьирует от 1,5 до 4,5%. Руда содержит также

олово, медь и висмут. В рудах наиболее крупного шеелитового месторождения Акцессион содержание трехоксида вольфрама достигает 3—5%.

Вольфрамоносные *штокверки*, ассоциирующие с жильными рудами, иногда совместно с последними разрабатываются, между тем как подавляющее большинство месторождений собственно штокверковых руд до настоящего времени не освоены промышленностью, несмотря на крупнейший масштаб оруденения и возможность отработки открытым способом. Лимитирует убогое содержание вольфрама в рудах изученных месторождений, которое в среднем в 5—10 раз ниже, чем в жильных месторождениях. В связи с техническим прогрессом добычи и обогащения бедных руд вполне вероятно, что в ближайшем будущем месторождения этого типа будут вовлечены в эксплуатацию и доля их в мировом производстве вольфрамовых концентратов резко возрастет.

В Советском Союзе разрабатывается Инкурское месторождение штокверковых руд, расположенное в Забайкалье. Оруденение в форме гюбнерит- и шеелитсодержащих кварцевых жил и прожилков локализовано в мезозойских дробленых кварцевых диоритах и палеозойских осадочных породах. К промышленному освоению подготовлены два более крупных месторождения штокверковых руд — Верхнекайрактинское и Богутинское, — расположенных в Казахстане и генетически связанных с герцинскими гранитами.

Оруденение Верхнекайрактинского месторождения выражено 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. Основными полезными компонентами являются вольфрамит и шеелит. В подчиненных количествах присутствуют молибденит, висмутин, самородный висмут, пирит и др. Еще реже встречаются галенит, сфалерит и халькопирит.

Отчетливо проявляется вертикальная зональность, выражающаяся в постепенной смене преимущественно молибденовых руд, развитых на глубоких горизонтах, молибден-вольфрамовыми и преимущественно вольфрамовыми в верхних горизонтах.

Богутинское месторождение представлено рядом минерализованных зон в гидротермально измененных песчаниках, преимущественно в экзоконтакте гранитного массива. Зоны сложены кварцевыми жилами, прожилками и рассеянной вкрапленностью, рудные минералы представлены шеелитом, пиритом, галенитом и сфалеритом. В незначительном количестве присутствуют молибденит, висмут и вольфрамит.

Характерным для штокверковых месторождений является отсутствие четких границ рудных тел — обычно контуры промышленного оруденения определяются исключительно по данным опробования с учетом установленного бортового и минимального промышленного содержания. Содержание вольфрама в рудах колеблется в весьма широких пределах — от первых сотых до первых десятых долей процента; безрудные участки чередуются с участками богатых руд.

Шеелитоносные скарны распространены более широко, чем штокверковые руды, и значительно реже, чем жильные руды вольфрама. В отличие от последних скарны представлены крупными рудными телами, часто пригодными для разработки открытым способом. Как и жильные руды, они характеризуются часто высоким содержанием вольфрама и нередко промышленной концентрацией молибдена, олова,

меди, висмута. В рудах отдельных месторождений присутствуют золото, серебро, бериллий, цинк, свинец. Рудные тела располагаются в зоне контакта гранитоидов повышенной основности (гранодиоритов, кварцевых диоритов, диоритов, адамеллитов) с карбонатными породами или в некотором отдалении от нее и образуют в карбонатных породах межпластовые залежи. Протяженность рудных тел по простиранию достигает нескольких километров, по падению она составляет

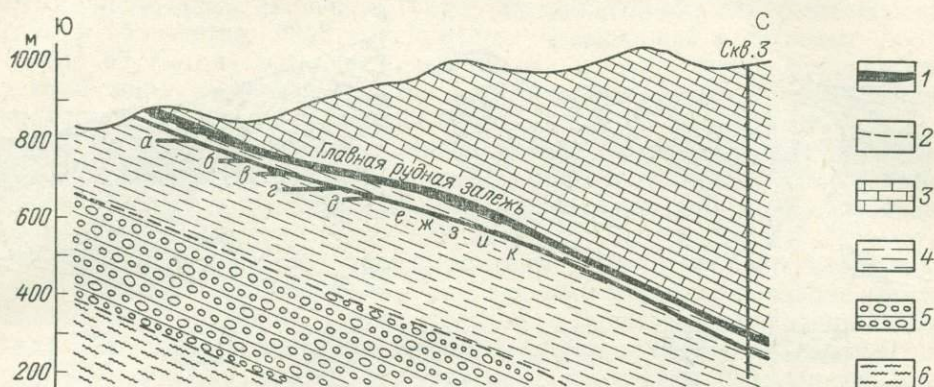


Рис. 23. Поперечный разрез рудной залежи месторождения Санг-Донг.

1 — рудное тело; 2 — предполагаемый контакт; 3 — серия Грейт Лайм Стоун (известняки); 4 — формация Майбанг; 5 — кварциты Чанган; 6 — докембрийские сланцы. Горизонты: а — Сункианг, б — Чанган, в — Бейкан, г — Тенбейк, д — Сангдонг, е — первый, ж — второй, з — третий, и — четвертый, к — пятый

более 1,5 км. Преобладают небольшие месторождения с запасами вольфрама, измеряемые десятками тысяч тонн, но известен и ряд крупных месторождений, запасы металла в которых превышают сто тысяч тонн. Производительность наиболее крупных предприятий достигает 2 тыс. т руды в сутки.

В капиталистических и развивающихся странах наиболее значительным месторождением шеелитовых скарнов считается Санг-Донг в Южной Корее (рис. 23), достоверные и вероятные запасы трехокси вольфрама которого превышают 100 тыс. т, а общие запасы вдвое больше. Благодаря этому месторождению Южная Корея занимает первое место среди капиталистических и развивающихся стран по разведанным запасам вольфрама и третье место после США и Боливии по его добыче.

Рудные тела месторождения 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 в 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—20 см и прожилках с серицитовыми зальбандами.

В прошлом добываемые руды отличались высоким качеством. Среднее содержание в них трехокси вольфрама составляло 1,3—1,7% (на отдельных участках более 10%), висмута — 0,46% и молибдена —

0,12%. На обогатительной фабрике получается концентрат, содержащий 65% трехокси вольфрама, 1,24% молибдена, 0,56% висмута, 1,56% серы, 2,56% железа, 0,03% меди, 0,3% фосфора и 0,02% сурьмы.

В последние годы разведаны две новые рудные залежи и снизились кондиции по содержанию трехокси вольфрама в руде. Разведанные запасы руды в связи с этим увеличились в два с половиной раза при среднем содержании трехокси вольфрама 0,7%.

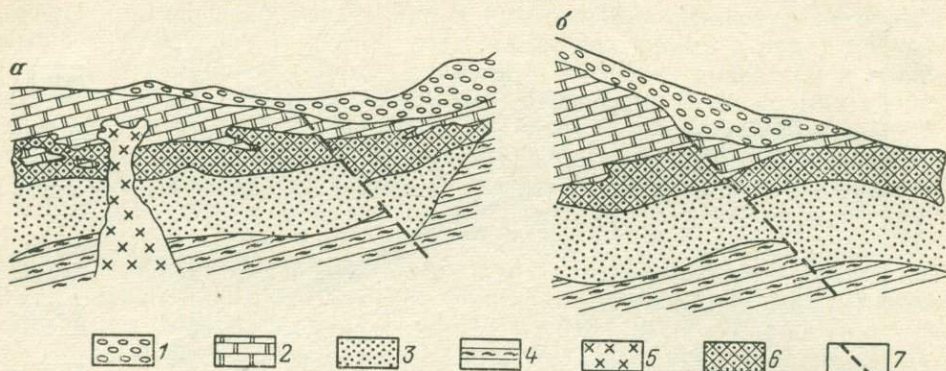


Рис. 24. Схематические продольный (а) и поперечный (б) разрезы месторождения Флэт-Ривер.

1 — наносы; 2 — мраморы; 3 — роговики; 4 — аргиллиты; 5 — гранодиориты; 6 — рудоносные скарны; 7 — разрывные нарушения

В 1973 г. производство вольфрамовых концентратов составило 3546 т (около 2500 т WO_3). Перерабатывалось в сутки 1800 т руды, содержащей в среднем 0,66% трехокси вольфрама.

В конце 1959 г. здесь построен завод по производству синтетического шеелита, где получается продукт, содержащий 70% трехокси вольфрама и менее 0,04% молибдена. В начале 1973 г. введен в строй завод по производству паравольфрамата аммония и до конца года на нем было выпущено 560 т этого продукта. Попутно с вольфрамом получено в 1973 г. 64 т молибденового концентрата и 101 т висмута.

Весьма крупным скарновым месторождением является Флэт-Ривер, открытое в Северо-Западных территориях Канады, близ границы с Юконом в 1959 г. В следующем году разведочный отряд, заброшенный на вертолетах, опробовал рудное тело по 21 линии поверхностных горных выработок, пройденных через 12 м. В том же году была проведена на месторождении предварительная разведка, заключающаяся в бурении по редкой сети 11 скважин колонкового бурения. В 1960 г. проведена детальная разведка, выразившаяся в бурении 41 скважины общей длиной 3520 м. Запасы руды определены в 1,32 млн. т, трехокси вольфрама в 30 тыс. т (среднее содержание трехокси в руде установлено в 2,51%).

Месторождение представлено рядом пластообразных и линзообразных залежей, приуроченных к зоне контакта известняков с ороговикованными аргиллитами (рис. 24). Оруденение контролируется крутопадающим разломом. Главная пластообразная залежь прослежена по простиранию на 200 м, по падению на 90 м при средней мощности 20 м.

В 1963 г. предприятие на базе месторождения дало первую продукцию. На строительство карьера (добыча производилась из уступов горы) и обогатительной фабрики производительностью 300 т руды в сутки,

а также автодороги от карьера до обогатительной фабрики протяженностью 7 км и приобретение оборудования затрaчено 6 млн. долл. Новая скарновая рудная зона «Е» на месторождении выявлена в 1971 г. в 0,5 км к северу от действующего карьера. Она представляет собой пологопадающее рудное тело, залегающее на более глубоких горизонтах, чем главная залежь, и пригодна для подземной разработки. Разведка рудной зоны ведется подземными горными выработками и буровыми скважинами. В начале 1974 г. запасы рудной зоны были подсчитаны в количестве 3848 тыс. т руды, содержащей в среднем 1,68% (около 65 тыс. т) трехокси вольфрама и 0,22% меди. Перспективы рудной зоны не исчерпываются подсчитанными запасами, поскольку полностью она еще не развeдана.

В 1972 г. в этой рудной провинции открыто скарновое месторождение Макмиллан-Пасс, общие запасы руд которого оцениваются, по предварительным данным, в 30 млн. т при содержании 0,9% трехокси вольфрама (270 тыс. т).

Широко распространены шеелитовые месторождения скарнового типа в США. Сосредоточены они главным образом в районе между Скалистыми горами и Сьерра-Невадой, в штатах Калифорния и Невада. Месторождения связаны с послепорфировыми гранодиоритовыми интрузиями: рудные залежи, приуроченные к пластам известняков, удалены обычно от интрузий на несколько сотен метров. Руды состоят главным образом из граната, эпидота, кальцита, кварца и пирита, среди которых шеелит образует вкрапленность или отдельные богатые скопления различных размеров. Рудные тела имеют пластообразную форму. Длина их по простиранию от 150 до 300 м при мощности 1,5—1,8 м. Содержание трехокси вольфрама в разрабатываемых рудах составляет в среднем 1—1,5%. Глубина разработок превышает 400 м.

Известные в ряде районов Мексики месторождения шеелитовых скарнов сходны с месторождениями США, южным продолжением которых они являются. Руды наиболее крупного месторождения Эль-Феномено (Роса-Кастилья) содержат от 1 до 2% трехокси вольфрама, а также промышленные концентрации меди и золота.

Многочисленные месторождения шеелитоносных скарнов сосредоточены на северо-востоке Бразилии. Они весьма слабо изучены, хотя общие перспективы их оцениваются весьма высоко. Считают, 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. Разрабатываются мелкие месторождения преимущественно старателями, которые продают свою продукцию скупщикам, а те, в свою очередь, перепродают ее экспортерам. Крупные рудники Брежуй и Барра-Верде, принадлежащие компании, ежегодно получают по 500—700 т высокосортных шеелитовых концентратов, содержащих 73—75% WO_3 .

В Бразилии шеелитовые скарновые месторождения сосредоточены в южной части оловянной провинции, приуроченной к складчатой зоне Анд и Средних Кордильер. В рудах наиболее крупного месторождения Акцессион содержание трехокси вольфрама достигает 3—5%. В рудах других месторождений оно, как правило, превышает 1,8%.

Много сравнительно крупных месторождений шеелита скарнового типа известно в Китае, где они в основном расположены в провинциях

Цзянси, Хунань и Гуандун. Они представлены пластообразными и линзообразными залежами, приуроченными к палеозойским и нижнемезозойским известнякам, обычно вблизи их контакта с песчаниками и сланцами. Отдельные месторождения заключают более десяти рудных тел, среди которых наиболее крупные прослежены по простиранию до 2000 м. В широких пределах колеблется мощность рудных тел (от первых до десятков метров) и содержание в них трехокси вольфрама (от десятых долей до первых процентов). На глубину промышленное оруденение прослеживается до 1500 м. Кроме шеелита руды обычно содержат молибденит, халькопирит, сфалерит, галенит, пирит, пирротин.

Ряд месторождений шеелитовых скарнов выявлен в последнее время в Турции. По масштабу оруденения выделяется месторождение Улудаг, представленное оруденелыми скарнами и мраморизованными известняками приконтактной зоны мезозойских гранитов. Мощность скарновой зоны достигает 27 м, среднее содержание трехокси вольфрама в скарнах составляет 0,58%, в оруденелых известняках — 0,3%. Общие запасы трехокси вольфрама оцениваются в 45 тыс. м. Небольшие месторождения шеелита скарнового типа разрабатываются во Франции и Швеции.

Сравнительно крупное месторождение шеелита Кинг-Айленд расположено в Австралии на о. Кинг. Оруденение приурочено к контакту герцинских гранитов с известковистыми сланцами и представлено зоной оруденелых гранат-пироксеновых скарнов. По простиранию зона прослежена на 450 м при общей мощности от 50 до 70 м. В пределах зоны выделяются два рудных тела мощностью 27 и 7,5 м со средним содержанием трехокси вольфрама 0,53% и одно тело, содержащее 1,1% трехокси вольфрама. Разведанные запасы месторождения составляют 48 тыс. т трехокси вольфрама при среднем ее содержании 0,75%.

Широко распространены месторождения шеелитоносных скарнов в Советском Союзе. Они разведаны на Северном Кавказе, в Средней Азии, Забайкалье, Приморском крае и Якутии. Тырнаузское месторождение на Северном Кавказе представлено несколькими пластообразными скарновыми залежами с шеелитом и молибденитом, шеелитоносными скарнированными мраморами, а также молибденосодержащими роговиками и гранитоидами. Мощность скарновых залежей колеблется от 10 до 50 м. Кроме шеелита и молибденита они содержат висмутин, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенипирит, магнетит и пирит (см. раздел «Молибден»).

На Дальнем Востоке по масштабу оруденения выделяется недавно разведенное в Приморском крае месторождение Восток-2. Рудное поле месторождения сложено верхнепермскими и верхнетриасовыми (?) образованиями, прорванными небольшими штоками гранитоидов мелового возраста и палеогеновыми дайками. Оруденение в виде субпараллельных пластовых залежей пироксеновых скарнов среди биотитовых роговиков и известняков приурочено к контакту штока гранодиоритов и плагиогранитов. Мощность главной рудной залежи от 1,4 до 53,6 м. В рудах установлено около 70 минералов. Кроме основного полезного компонента — вольфрама, промышленное значение имеют также попутные компоненты: медь, висмут и др.

Широко распространены *россыпи* вольфрамита, генетически и пространственно преимущественно связанные с коренными рудами касситерит-вольфрамит-кварцевой и вольфрамит-кварцевой формаций. Этим

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений вольфрама

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдельных месторождений, тыс. т WO ₃	Содержание WO ₃ , %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах, %		Головая производительность горнообогатительного предприятия, тыс. т	
			открытой	подземной	в разведанных запасах	в добыче	руда	WO ₃
Гидротермальные вольфрамит-кварцевые, касситерит-вольфрамит-кварцевые, гюбнерит-кварцевые, ферберит-кварцевые, шеелит-кварцевые жилы и жилные зоны, часто сопровождаемые грейзеновой минерализацией	5—50	0,5—1,5	—	200—400	26	36	50—300	0,3—2
Метасоматические шеелитовые, халькопирит-шеелитовые, молибденит-шеелитовые скарны в форме пластообразных, трубчатых и гнездовых залежей	10—200	0,2—2,5	100—300	300—700	65	60	100—5000	1—3
Гидротермальные шеелитовые, вольфрамитовые и гюбнеритовые штокверки преимущественно изометричной формы	15—250	0,2—0,4	Свед. нет	Свед. нет	8	3	Свед. нет	Свед. нет
Вольфрамитовые и вольфрамит-касситеритовые россыпи	0,3—10	0,1—0,5	10—40	—	1	1	10—50	0,3—0,5

обусловлен минеральный состав разрабатываемых россыпей, в которых основными извлекаемыми полезными компонентами, являются вольфрамит и касситерит. Собственно вольфрамитовые россыпи отличаются небольшими запасами вольфрама (десятки и первые сотни, редко тысячи тонн) и обычно сравнительно высоким его содержанием в разрабатываемых песках (от одного до первых килограммов на 1 м³). Эксплуатация россыпей не требует больших капиталовложений и осуществляется наиболее дешевыми путями. Более крупным источником добычи вольфрама являются касситеритовые россыпи, откуда он извлекается попутно. В мировых запасах вольфрама и производстве его концентратов доля россыпей не превышает 1—2%.

Интересный тип вольфрамовой минерализации выявлен в месторождении оз. Сёрлз в США, которое до последнего времени пользовалось мировой известностью как крупный источник бора, калия и лития. Среднее содержание в *рассолах* и соляном пласте трехоксида вольфрама составляет 0,007%, а запасы ее оцениваются в 80 тыс. т.

Среди разведанных в мире месторождений вольфрамовых руд выделяются четыре морфогенетических типа, из них два составляют основу вольфрамовой промышленности (табл. 6).

БОКСИТЫ

До настоящего времени не выявлены промышленные месторождения бокситов *докембрийского* возраста, хотя благоприятные условия для их образования, несомненно, существовали. Можно предполагать, что за счет бокситов и бокситоподобных глин в результате их интенсивного метаморфизма образовались высокоглиноземные кристаллические сланцы, широко распространенные во всех районах развития докембрийских пород, а также обнаруженные в Южной Якутии и Индии кианитовые и корундовые породы архейского возраста. Континентальные перерывы и связанные с ними продукты коры выветривания установлены в пределах почти всех древних платформ и щитов. В последнее время в районах Курской магнитной аномалии буровыми скважинами вскрыты залежи бокситов, приуроченных к древней палеозойской коре выветривания докембрийских пород, погребенной под осадочным чехлом мощностью 500—800 м.

Небольшое месторождение бокситов обнаружено в Бразилии среди верхнепротерозойских пород, но возраст самих бокситов еще не выяснен. В ряде мест северных районов европейской части СССР буровыми скважинами вскрыта каолиновая кора выветривания докембрийских пород, но их практическое значение, равно как и время образования, не установлены.

Наиболее древним — *нижнепалеозойским* — среди разведанных месторождений бокситов, по-видимому, является Боксонское месторождение в СССР (Восточная Сибирь). Оно приурочено к карбонатной, преимущественно доломитовой свите нижнего и среднего кембрия, залегающей на нижнекембрийской туфогенно-осадочной 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 бёмита. Остальная часть глинозема связана с хлоритом, пирофиллитом и др.

В нижнем палеозое происходило формирование ряда бокситовых месторождений Китая. Они относятся к геосинклинальному типу, приурочены к мощным толщам известняков кембрия и ордовика, и образование их связано с длительным перерывом в осадконакоплении.

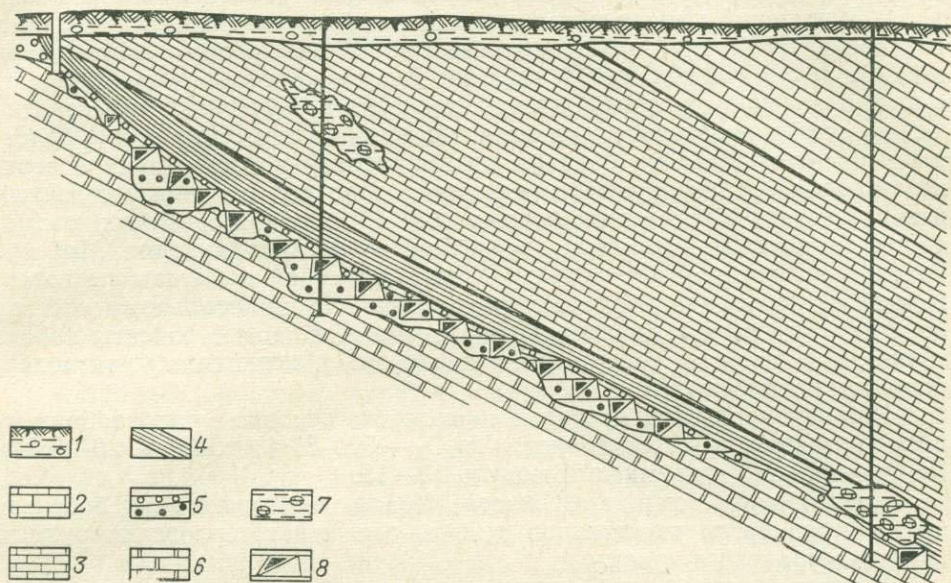


Рис. 25. Геологический разрез вкрест простирания участка бокситовой залежи. По Ю. М. Родченко.

1 — наносы; 2 и 3 — известняки кровли; 4 — глинистые сланцы кровли; 5 — бокситы; 6 — известняки почвы; 7 — закарстованные участки; 8 — горные выработки

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 Советском Союзе наиболее известные месторождения залегают среди известняков, в Китае и США они часто приурочены к угленосным отложениям и ассоциируют с плотными маложелезистыми каолиновыми породами типа флинтклей. В большинстве случаев верхнепалеозойские бокситы имеют пластообразную форму и приурочены к платформенным котловинам. Состав их весьма пестрый. Разрабатываются преимущественно бокситы, в которых содержание глинозема превышает 50%.

В СССР бокситы Северного Урала приурочены к контакту жединских и эйфельских известняков и образуют так называемый субровский горизонт. Они залегают на неровной, сильно закарстованной поверхности известняков (рис. 25), где часто развита известняково-бокситовая брекчия мощностью около 0,5 м (иногда значительно больше); вышележащими известняками бокситы перекрываются согласно. Первоначально непрерывный пласт бокситов, распространявшийся на значительной

площади, осложнен серией дизъюнктивных нарушений — сбросами и взбросами с амплитудой смещения от нескольких 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. Г. И. Бушинский выделяет 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 закарстованных 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 перетолжения и хлоритизации красных бокситов. По минеральному составу бокситы относятся к диаспоровым разновидностям. Красные бокситы характеризуются высоким содержанием глинозема и незначительным содержанием кремнезема и серы.

В североуральских бокситах содержание основных породообразующих компонентов составляет: Al_2O_3 — 50—55%, SiO_2 — 4,0—5,5%, Fe_2O_3 — 10—20%; кремневый 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 подножия 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 залегают трансгрессивно на девонских и кембрийских отложениях и преимущественно развита в плоских понижениях докарбонного 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 двуокиси титана варьирует от 0,3 до 4,0%; кремневый 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 определяется морфология и состав бокситов, представленных небольшими линзообразными вытянутыми залежами бёмит-каолинит-гиббситового состава. Содержание в бокситах Al_2O_3 составляет 50—55%, SiO_2 — 15—18%, Fe_2O_3 — 4—10%; кремневый модуль — 2,5—3,5.

Примерно этот же возраст имеют бокситы КМА, приуроченные к коре выветривания, погребенной под осадочным чехлом, мощностью до 800 м, формирование которой происходило в нижнекаменноугольное время. Среди них выделяются 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, по возрасту относящимися к низам визейского яруса.

Наиболее мощные залежи латеритных бокситов расположены вблизи контакта сланцев с богатыми железными рудами. Среди бокситов выделяются бёмитовые и гиббситовые разности, содержащие в переменных количествах шамозит, каолинит, гидроокислы железа и др.

Осадочные бокситы располагаются вблизи латеритных бокситов, в их склоновых залежах преобладает обломочный материал, в долинах — тонкодисперсный. Они сложены в основном бёмитом, 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 относится к визейскому времени. Бокситы представлены каолинит-гиббсит-бёмитовыми и каолинит-бёмитовыми разностями, в которых содержание Al_2O_3 составляет 45—52%, SiO_2 — 4,8%, Fe_2O_3 — 20—30%. Кремневый модуль 7—12. Обычно они отличаются высоким содержанием серы. Латеритные бокситы Средне-Тиманского района образовались в нижнефранское время. Бокситоносный горизонт располагается на гидрослюдистых и каолинит-гидрослюдистых продуктах коры выветривания глинистых доломитов, известняков, аргиллитов и алевролитов. Бокситы относятся к гётит-шамозит-бёмитовым и реже к каолинит-бёмитовым разностям. По данным Г. Р. Кирпаля (1974), содержание глинозема в бокситах колеблется от 38,3 до 59,6%, кремнезема — от 2,5 до 17,3%, окислов железа — от 12,0 до 38,6%, кремневый модуль — от 3,9 до 5,4. Бокситы с кремневым 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 КНР. 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 разрывом латеритной коры выветривания и последующим переотложением глиноземных продуктов в платформенных котловинах. Отдельные пластообразные или линзообразные залежи бокситов, сложенные в основном бёмитом, каолинитом и гидраргиллитом, прослеживаются по простиранию на 1500—3500 м. Обычно бокситы отличаются высоким содержанием глинозема, которое в среднем составляет 50%.

В северной части Вьетнама бокситоносны верхнепермские отложения, представленные переслаивающимися глинистыми, иногда углистыми сланцами, алевролитами, известняками и мергелями. Продуктивный горизонт изменчивой мощности залегает на неровной поверхности массивных известняков пермо-карбона и наряду с высокоглиноземистыми бокситами (пелитоморфными или оолитовыми) включает аллиты, сиаллиты и глинистые породы.

Высококачественные бокситы образуют внутри горизонта линзовидные тела протяженностью от 100 до 1000 м. Содержание глинозема в бокситах колеблется от 40 до 60%, кремнезема от 2,5 до 20%. Спектральным анализом в бокситах установлено присутствие в небольших количествах галлия, ванадия, хрома, никеля, кобальта.

Сравнительно небольшие месторождения бокситов каменноугольного возраста, приуроченные к угленосным отложениям, известны в США. 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.

Все *мезозойские* месторождения бокситов сосредоточены в Европе, где они образуют протяженный пояс, охватывающий южные районы континента. Формирование бокситов происходило в течение всей мезозойской эры, но большая часть промышленных месторождений образовалась в меловой период — это почти все месторождения бокситов Франции, Италии, Греции и Венгрии, ряд месторождений Югославии. Реже встречаются триасовые (Турция, Югославия) и юрские (Турция) месторождения.

Наиболее крупные месторождения бокситов обычно приурочены к прибрежморским отложениям, и их пластообразные залежи почти постоянно ассоциируют с известняками, доломитами и сравнительно редко подстилаются силикатными породами. Широко распространены месторождения бокситов, залежи которых выполняют карстовые депрессии в известняках, и часть из них, вероятно, является продуктом эолового происхождения. Бокситы ряда месторождений представляют собой хемогенные озерно-болотные фации.

По размерам запасов (общие — 100 млн. т, достоверные и вероятные — 50 млн. т) и высокому качеству бокситов (среднее содержание глинозема 50—60%) выделяются месторождения Франции, расположенные вдоль Средиземноморского побережья (рис. 26). Они непосредственно контактируют с известняками и доломитами или отделяются от них пластом красноватого глинистого материала, известного под названием «terra rossa».

Разрабатываемые залежи бокситов представлены преимущественно пластами, реже гнездами (карманами) и отличаются крупными разме-

рами. При мощности от 2—5 до 18 м и ширине до 2—3 км отдельные пласты бокситов прослеживаются по простиранию до 20 км и более. Многие гнезда достигают 100 м в поперечнике при глубине до 30 м. Они группируются в отдельные полосы, соединенные узкими бокситовыми перемычками. Нижняя часть пластовых залежей состоит из красного железистого боксита, который постепенно кверху светлеет и становится розовым — в центральной части пласта, серым и белым — в верхней. Гнезда нацело сложены красной разностью боксита. Преобладают моногидратные бёмитовые бокситы, встречаются бёмит-гидрагиллитовые, а в Пиренеях развиты диаспоровые бокситы, характерные также и для месторождений Испании.

Основная часть запасов и добычи бокситов Франции приходится на месторождения департамента Вар. Бокситы характеризуются высоким качеством, среднее содержание в них глинозема

составляет 60% (иногда достигает 70%), кремнезема менее 5%, окиси железа от 0,8 до 26%, двуокиси титана от 0,9 до 3,6%.

Предположительно к меловому возрасту относятся бокситы Венгрии, залегающие на поверхности триасовых доломитов под обломочными отложениями эоцена. Бокситы относятся к бёмитовым или гибсит-бёмитовым разностям. Большинство запасов сосредоточено в пластообразных залежах, площадь которых обычно превышает 1 км², 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 глинозема в бокситах колеблется от 52 до 61%, кремнезема — от 2 до 6%, окиси железа — от 16 до 24%, окиси титана — от 1,8 до 2,9%.

Линзы и пластообразные залежи бокситов месторождений Греции 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% и более) и сравнительно высоким содержанием титана, иногда с небольшой примесью хрома и галлия. В месторождениях Турции бокситы представлены красными диаспоровыми разностями, в которых содержание глинозема составляет 50—63% и кремнезема 3—5%. Они образуют два стратиграфически выдержанных пласта — один в юрских, другой в меловых известняках.

Весьма разнообразные по качеству руд и условиям залегания месторождения бокситов мезозойского возраста известны в Советском Союзе. В одних случаях они выполняют карстовые депрессии в карбонатных отложениях, в других — эрозионные впадины в силикатных породах, в третьих — залегают на коре выветривания более древних

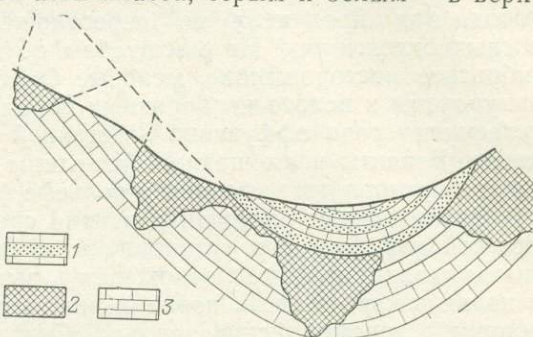


Рис. 26. Месторождение бокситов в форме карманов.

1 — пески и известняки верхнего мела (континентальные); 2 — бокситы; 3 — известняки верхней юры

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. По масштабам оруденения выделяется Краснооктябрьское месторождение, 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 поля 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 трапповых интрузий и песчано-глинистых пород.

Большинство мировых ресурсов бокситов образовалось в *кайнозое* и сосредоточено в странах южного полушария в Австралии, Африке, Центральной и Южной Америке. Месторождения бокситов этого возраста обычно приурочены к кайнозойской коре латеритного выветривания и в большинстве случаев, несомненно, представляют собой конечный продукт субаэрального выветривания алюмосиликатных пород в условиях тропического или субтропического климата. Характерным для месторождений этого генетического типа является преобладание бокситов высокого качества (содержание глинозема обычно выше 50%) и благоприятные условия для разработки их открытым способом.

Промышленные месторождения высококачественных бокситов, генетически связанных с кайнозойской корой выветривания, известны также в ряде стран северного полушария (Индии, Индонезии, Малайзии, США, Югославии), но по масштабам минерализации они значительно уступают месторождениям южного полушария.

Крупнейшие в мире ресурсы бокситов в последнее время выявлены, разведаны и освоены промышленностью в Австралии. По состоянию на начало 1975 г. общие запасы бокситов только выявленных месторождений составляют 4600 млн. т (31% запасов капиталистических и развивающихся стран), в том числе 1100 млн. т (29%) достоверных и вероятных запасов. Основные месторождения сосредоточены на севере страны, где в пределах полуострова Кейп-Йорк промышленные залежи высококачественных бокситов распространены на площади около 800 км². 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 с ясно выраженной пизолитовой структурой, 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 и в ряде других районов Австралии.

В пределах Африканского континента крупные ресурсы высококачественных бокситов третичного возраста сосредоточены на территории Гвинеи и Ганы. Особенно широко распространены бокситы в Гвинее, где многочисленные промышленные месторождения известны на материковой части страны и на островах Лос. Месторождения платформенного типа, образование их здесь связывается с латеритным выветриванием граптолитовых глинистых и слюдястых сланцев, нефелиновых сиенитов и диабазов. Образовавшиеся латериты обычно перекрыты железистым панцирем («Кирасой»), предохраняющим бокситы от разрушения. Общая мощность бокситов составляет 12—15 м. Разрабатываемые залежи бокситов отличаются высоким качеством и в среднем содержат 50—60% глинозема, 1—5% кремнезема, 5—12% окиси железа и 2—3% двуокиси титана. По оценкам отдельных геологов, общие запасы бокситов Гвинеи превышают 20 млрд. т, а достоверные и вероятные составляют 8 млрд. т.

Месторождения бокситов Ганы образовались в результате латеритного выветривания филлитов, глинистых сланцев и аргиллитов. Мощность бокситовых покровов достигает 20 м. Наиболее крупным является месторождение Енахин. Запасы бокситов оцениваются в 270 млн. т при содержании глинозема 46—51%, местами до 63%. В бокситовых месторождениях Сефви-Беквай содержание глинозема колеблется от 52 до 58%, кремнезема от 3 до 6%.

В Южной Америке месторождения бокситов приурочены к окраинам Бразильского плато. Бокситоносная полоса начинается в Венесуэле и прослеживается через Гайану, Суринам и Французскую Гвиану вплоть до северо-восточной Бразилии. Бокситы относятся к верхнетретичному возрасту и представляют собой продукт поверхностного разложения древних метаморфических и интрузивных пород — долеритов, нефелиновых сиенитов, роговообманковых гнейсов и различных кристаллических сланцев. 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 пластов, 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, нередко обнажаются и на поверхности.

В Гайане линзообразные и пластообразные залежи бокситов мощностью от 1 до 12 м располагаются на глинах предположительно палеогенового возраста (рис. 27), с которыми они связаны постепенными переходами. Бокситы относятся к гиббситовому типу и характеризуются высоким качеством. Содержание глинозема в них составляет 50—61% (местами до 65%), кремнезема 1,0—2,7, железа 3% и двуокиси титана 0,1—5,8%.

Наиболее крупные промышленные месторождения бокситов расположены в Суринаме. Бокситы отличаются высоким качеством: в разрабатываемых месторождениях руды (после промывки) содержат

в среднем 59% глинозема, около 2% кремнезема и 6,5% окиси железа. Отдельные линзы и пластовые залежи бокситов прослеживаются на несколько километров в длину 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 0 до 18 м. Материнскими породами для них, 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.

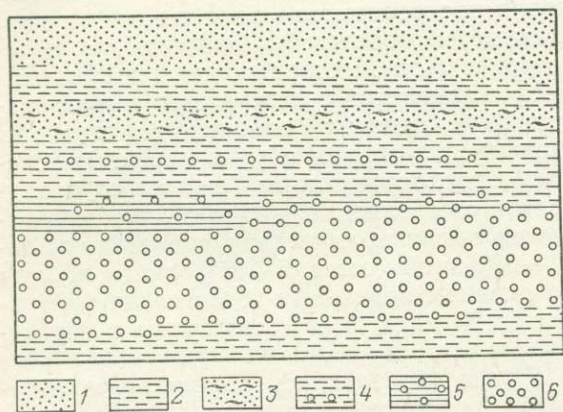


Рис. 27. Типичный разрез бокситовой залежи (Гайана).

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

Крупные месторождения третичных бокситов сосредоточены в странах Карибского бассейна — на Ямайке, в Гаити и Доминиканской Республике. Бокситы Ямайки приурочены к мощной серии третичных карбонатных пород, несогласно залегающих на меловых и нижнеэоценовых отложениях, представленных конгломератами, флишевыми отложениями, известняками, различными лавами и их туфами. Массивные доломиты и доломитизированные известняками, слагающие низы серии, отличаются небольшими проявлениями бокситизации. Основные месторождения приурочены к верхней части серии, сложенной чистыми известняками. Форма бокситовых залежей определяется карстовым рельефом поверхности подстилающих их известняков. Залежи бокситов распространены на огромной площади и размеры их варьируют в широких пределах. Одна из залежей бокситов прослежена по простиранию на 32 км при средней мощности 7,5 м.

Бокситы представлены двумя разновидностями — темно-красной и желтовато-коричневой и состоят главным образом (60%) из гиббсита и подчиненного количества бёмита. Содержание в них глинозема колеблется от 47 до 52%, кремнезема — от 0,4 до 3,5%, окиси железа — около 20%, двуокиси титана — 2,25%, пятиокиси фосфора — 0,3—2,8%. Руды характеризуются высокой влажностью, в среднем около 23%. В значительном количестве бокситы содержат ванадий, цинк и хром. В качестве акцессорных минералов в них присутствуют ильменит, пиролюзит, фосфаты алюминия или железа, магнетит, кварц, циркон. Месторождения отличаются благоприятными горнотехническими условиями, так как рудные тела залегают непосредственно на поверхности или вблизи от нее. Общие запасы бокситов Ямайки оцениваются в 1000 млн. т.

Кайнозойские месторождения бокситов США сосредоточены в районе Береговых равнин в штате Арканзас и приурочены к зоне 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 300 до 1600 м². Мощность их достигает 15—18 м, составляя в среднем 3,5 м. Наряду с остаточными встречаются переотложенные бокситы. Содержание глинозема в рудах от 46 до 59%, кремнезема — от 5,5 до 24,9%, окиси железа — от 2 до 4,8%. Значительная часть залежей пригодна для открытой разработки.

В Азии наиболее крупные ресурсы бокситов сосредоточены в Индии, Индонезии и Малайзии. Все они образовались в кайнозое в платформенных условиях в результате латеритного выветривания преимущественно туфогенных основных пород. Бокситы Индии приурочены к коре выветривания деканских траппов (верхний мел и, возможно, частично эоцен). Последние представлены мощной серией горизонтальных базальтовых покровов и переслаивающихся 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. Разрабатываются гидраргиллитовые бокситы с содержанием глинозема 56—63%, двуокиси титана — 8—10% и кремнезема — 1,4—2,8%.

К третичному возрасту относится часть бокситовых залежей, развитых в пределах Средиземноморской геосинклинали. В Югославии, на территории Истрии, Далмации, Герцеговины и Черногории бокситоносность характерна почти для всего разреза третичных отложений от палеоцена до олигоцена. Наибольший промышленный интерес представляют месторождения Далмации, сосредоточенные в приморской полосе. Залежи бокситов приурочены здесь к контакту нуммулитовых и альвеолиновых известняков. Содержание глинозема в бокситах колеблется от 48 до 55%, кремнезема — от 2,5 до 6%.

В пределах Советского Союза кайнозойские бокситы сравнительно ограниченно распространены. Они известны в Центральном Казахстане, где залежи их располагаются в основании толщи третичных пестроцветных глин на гидрослюдистых и каолинитовых глинах подрудной свиты и выполняют пологие и глубокие эрозионно-карстовые понижения в древнем фундаменте. 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 проявлений бокситов приурочен к основанию песчано-глинистой толщи бучакского яруса эоцена. Обычно бокситы залегают непосредственно на коре выветривания докембрийских пород и представлены в основном гиббситовыми разновидностями, иногда в смеси с бёмитом.

Все промышленные месторождения бокситов, известные в мире, принято подразделять на две группы, резко отличные по условиям образования:

- латеритные (элювиальные остаточные), образованные при выветривании алюмосиликатных пород;
- осадочные (переотложенные), формирование которых происходило в результате размыва месторождений первой группы и водномеханического переотложения латеритного материала, подвергающегося

Основные параметры морфогенетических типов разведанных промышленных месторождений бокситов

Морфогенетический тип месторождений	Тип руд	Запасы отдельных месторождений, млн. т от — до	Содержание $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах, %		Годовая производительность горнодобывающего предприятия, млн. т
				открытой	подземной	в запасах *	в добыче	
Латеритные								
Площадные залежи, приуроченные к кайнозойской коре выветривания алюмосиликатных пород	Гиббситовый	100—500 редко более крупные	$\frac{50-60}{2-5}$	25	—	$\frac{83}{86}$	63	0,5—5,0
Пластовые (пласто-линзообразные) залежи, приуроченные к мезозойской и палеозойской корам выветривания алюмосиликатных пород	Шамозит-гиббсит-бёмитовый и шамозит-бёмитовый	30—100	$\frac{45-50}{4-15}$	60	800	$\frac{3}{1}$	2	до 2,0
Осадочные								
Пластовые (пласто-линзообразные), приуроченные к алюмосиликатным породам, местами угленосным	Бёмит-каолинит-гиббситовый	20—100	$\frac{50-55}{15-18}$			$\frac{1}{1}$	2	до 3,0
Площадные, пластообразные карстовые залежи, приуроченные к известнякам, реже — доломитам	Гиббсит-бёмитовый, иногда с диаспором	30—500	$\frac{47-60}{0,4-5,5}$	50	1000	$\frac{12}{11}$	31	до 3,0
Линзы, гнездообразные карстовые залежи среди глин	Гиббситовый с каолинитом	10—50	$\frac{40-60}{2,5-20}$	70	—	$\frac{1}{1}$	2	0,1—1,5

* В числителе — общие запасы, в знаменателе — достоверные и вероятные.

нередко дальнейшей латеритизации, диагенетическим и другим изменениям.

Основу минерально-сырьевой базы алюминиевой промышленности капиталистических и развивающихся стран составляют месторождения, генетически и пространственно связанные с кайнозойской корой латеритного выветривания (табл. 7). В СССР большинство разведанных месторождений бокситов относится к осадочным образованиям и они же обеспечивают большую часть общесоюзной добычи.

МЕДЬ

Образование промышленных месторождений меди началось в докембрии и продолжалось во все последующие эпохи рудообразования.

К докембрию относятся концентрации меди в песчаниках Заира, Замбии и Восточной Сибири, сульфидные медно-никелевые и колчеданные месторождения Канадского, Балтийского и Австралийского щитов, а также месторождения колчеданных руд и самородной меди в США. Месторождения этого возраста обычно отличаются крупными запасами, комплексным составом руд и высоким содержанием меди (несколько процентов) и других полезных компонентов. В Китае, в пределах горной системы Чжунтяошань известны меднопорфировые руды, приуроченные к дайкам метаморфизованных гранодиорит-порфиров протерозойского возраста; они представлены халькопиритом и сопутствующим ему молибденитом, а в зоне окисления — малахитом. Зона вторичного обогащения отсутствует. Формирование месторождения относится к позднему этапу развития досинийской геосинклинальной зоны.

С нижнепалеозойской интрузивной деятельностью связано образование ряда медноколчеданных месторождений в Норвегии, а также штокверковых медных руд в Центральном Казахстане. Верхнепалеозойские месторождения меди почти целиком сосредоточены в пределах Европы и Азии. В Европе они представлены в основном пермскими медистыми песчаниками, развитыми на территории ГДР и Польши.

Сравнительно небольшие месторождения медноколчеданных руд верхнепалеозойского возраста известны в Ирландии, Испании и Португалии. Более разнообразными генетическими типами представлены меднорудные месторождения Азии, расположенные преимущественно в СССР и в Китае. В Советском Союзе важнейшими из них являются месторождения меднопорфированных руд и медистых песчаников Казахстана и меднопорфировых руд Средней Азии, а также месторождения колчеданных руд Урала. В Китае преобладают медноколчеданные руды.

Широко распространены мезозойские месторождения меди, представленные разнообразными генетическими типами в Китае, Японии, США (Аляска, Калифорния), Южной Африке. Многочисленные месторождения медноколчеданных, меднопорфировых и медно-молибденовых руд, связанные с мезозойским магматизмом, выявлены, разведаны и освоены промышленностью в Канаде. В Советском Союзе мезозойские месторождения медноколчеданных руд развиты в пределах Малого Кавказа.

Кайнозойские месторождения меди представлены главным образом меднопорфировыми рудами, сосредоточенными преимущественно в пределах Тихоокеанского рудного пояса. Они характеризуются крупными

запасами (миллионы тонн металла) и комплексным составом руд (молибден, золото, серебро). В СССР медномолибденовые месторождения этого возраста сосредоточены в Закавказье. Разведаны они также в Болгарии. В США кайнозойский возраст имеет крупнейшее в мире жильное месторождение Бьютт, первоначальные запасы которого составляли около 10 млн. т меди.

Небольшие месторождения меди, связанные с проявлениями третичного магматизма, известны в Аргентине и Боливии. Таков же возраст многочисленных месторождений медноколчеданных руд Югославии, Кубы, Филиппин, Японии, Китая (Тайвань) и СССР (Закавказье), а также медистых песчаников Испании.

Месторождения *меднопорфировых* руд, хотя и отличаются от всех других типов месторождений меди более низким содержанием полезных компонентов, приобрели в последнее время большое экономическое значение в связи со значительными масштабами минерализации и возможностью разработки открытым способом в крупных полностью механизированных карьерах. В них сосредоточено большинство мировых запасов меди; разработка их обеспечивает большую часть мировой выплавки меди и значительную часть производства молибденовых концентратов.

По данным 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%), в США 78 из 91 млн. т (85%), в Перу 19 из 23 млн. т (83%) и в Канаде 14 из 23 млн. т (61%). В суммарной добыче меди меднопорфировые руды составляют более 50%, в Чили 94%, в США 90% и в Перу 63%.

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 интрузивы (преимущественно в апикальных частях), так и вмещающие их интрузивные, в меньшей мере — эффузивные породы, подвергшиеся в различной мере гидротермальным изменениям. Рудоносные интрузии часто ассоциируют с андезитами, непосредственно вмещающими месторождения в ряде районов. Меднопорфировые месторождения отличаются крупными размерами в плане — до 2—3 км и значительной протяженностью на глубину — до 700 м и более; форма их преимущественно грубо изометричная. Часто характер оруденения меняется последовательно от вкрапленности, через зону развития тонких прожилков (трещинки выполнения), прожилков, жилков 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, Бингем, Моренси, Сан-Мануэль, Серро-Колорадо, Саффорд. Существует множество толкований о происхождении рудных районов концентраций месторождений меднопорфировых руд. Особенно этому вопросу много внимания стало уделяться в последнее время в связи с развитием различных гипотез глобальной тектоники, совпадением границ орогенических поясов размещения месторождений с границами основных плит литосферы.

Так, большинство месторождений локализовано в зоне, окружающей Тихий океан, т. е. расположено на периферии Тихоокеанской плиты, которая расширяется (растягивается) с одной стороны в направлении к Северной и Южной Америке, а с другой стороны — в направлении к юго-восточной Азии и Австралии. Большая часть других месторождений приурочена к Альпийской зоне, начинающейся в Балканах, пересекающей Малую Азию, Армению и Иран и заканчивающейся

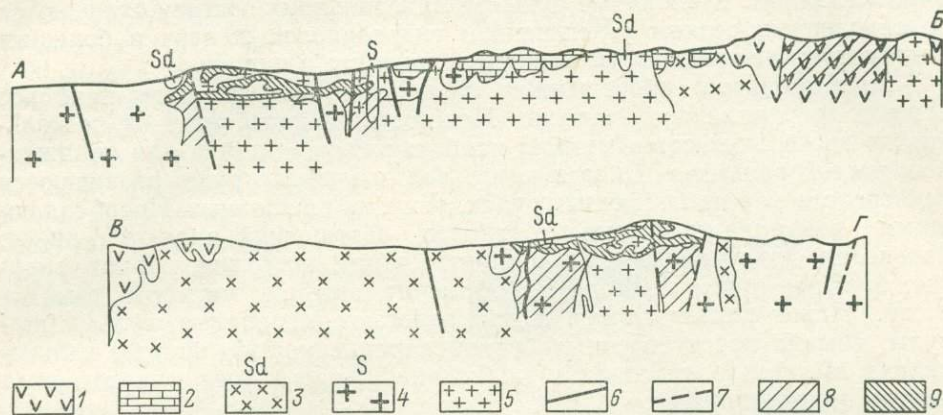


Рис. 28. Месторождение Алмалык. Геологические разрезы по линиям АБ и ВГ.

1 — кварцевые порфиры; 2 — известняки; 3 — сиенито-диориты; 4 — сиениты; 5 — гранодиорит-порфиры; 6 — разломы доминерализационные; 7 — альпийские сбросовые нарушения; 8 — сульфидные руды; 9 — окисленные руды

в Пакистане. Вне этой зоны месторождения известны в СССР (Казахстане, Узбекистане и Туве), Монголии и Китае.

В СССР месторождения меднопорфировых руд Центрального Казахстана и Средней Азии пространственно и генетически связаны с герцинскими гранодиорит-порфирами (рис. 28). 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, и весьма слабо проявлено оруденение в центральных частях штоков.

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 ее иногда четко проявляется зона выщелачивания с пониженным

содержанием меди. Нередко в результате окисления древнего горизонта вторичного сульфидного обогащения развивается зона смешанных руд.

Наиболее распространенными минералами окисленных и выщелоченных руд являются 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 гидроокислов железа и большим количеством халькозина, местами халькопирита и пирита.

Зона вторично обогащенных халькозиновых руд имеет наиболее важное промышленное значение. Мощность ее колеблется от нескольких до нескольких сотен метров; наибольшая 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 др. Ниже халькозиновой зоны залегают первичные сульфидные руды, обычно представленные бедной вкрапленностью пирита, халькопирита, магнетита, гематита и молибденита; кроме того, они содержат иногда другие примеси.

Меднопорфировые руды легко поддаются обогащению, и извлечение меди в концентрат достигает 96%.

Известными месторождениями не ограничиваются перспективы выявления новых месторождений меднопорфировых руд в Казахстане и Средней Азии. Проявления этого типа минерализации установлены в ряде других районов. В юго-восточной части Зайсанской складчатой области, например, они относительно широко представлены 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. В Армении выделяется протяженный рудный пояс, включающий ряд месторождений меднопорфирового типа. Оруденение контролируется дайками гранодиорит-порфиров и приурочено к гидротермально измененным зонам дробления и брекчирования, в которых интенсивно проявились процессы окварцевания, серицитизации, пиритизации и хлоритизации. Руды этих месторождений наряду с медью почти всегда характеризуются относительно высоким содержанием молибдена.

Крупнейшие ресурсы меднопорфировых руд сосредоточены 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 и провинции Британская Колумбия в Канаде. Большинство месторождений имеет сходные геологическое строение и минеральный состав руд. В США и странах Латинской Америки они связаны с третичными (ларамийскими) гипабиссальными интрузиями кварцевых монзонит-порфиров, гранит-порфиров и др., в Канаде — с мезозойскими интрузивными образованиями.

Меднопорфировые месторождения помимо меди и молибдена являются также важным источником золота, серебра и рения. Содержание

золота составляет обычно от 0,31 до 0,62 г, серебра от 93 до 310 г в тонне меди, содержание рения в молибдените достигает 0,03—0,06%.

Наиболее крупные месторождения меднопорфировых руд сосредоточены в Чили, где по масштабу минерализации и высокому содержанию полезных компонентов среди них особенно выделяются Чукикамата и Эль-Тениенте.

Месторождение Чукикамата (рис. 29), 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 материнских 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 до 2,1—2,3%.

Первичные руды представлены пиритом, энаргитом и халькопиритом. На месторождении глубоко проявились процессы вторичного обогащения, обусловившие образование богатых халькозиновых руд, содержащих до 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 достоверные запасы руд оцениваются в 1,5 млрд. т (25,5 млн. т меди).

В добываемых рудах преобладают окисленные разности, которые перерабатываются гидрометаллургическим методом. Месторождение разрабатывается открытым способом. 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 2,0 и 0,037%, извлечение их 90 и 40%.

Содержание в одноименных концентратах меди составляет 50%, молибденита 92%.

Месторождение Эль-Тениенте, расположенное на высоте 2800—3000 м, приурочено к кратеру вулкана (до 1000 м в поперечнике), выполненному туфами и андезитовыми лавами, интродуцированными 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,

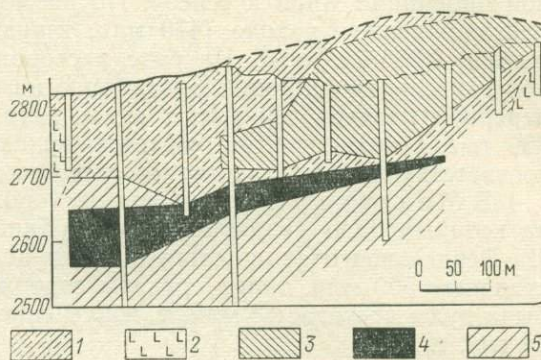


Рис. 29. Разрез месторождения Чукикамата (Чили).

1 — выщелоченные пустые породы; 2 — гранодиориты; 3 — окисные руды; 4 — смешанные руды; 5 — сульфидные руды

развиты лимонит, вторичный гематит, азурит, малахит, куприт, самородная медь.

Рудное тело 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.

Открытые в последние годы в южной части Перу крупные месторождения меднопорфировых руд являются как бы продолжением медной провинции Чили к северу. По размерам запасов здесь выделяется месторождение Куахоне (470 млн. т руды, содержащей в среднем 1% меди и 0,025% MoS_2). На базе месторождения сооружаются карьер и обогатительная фабрика. Ежедневно на обогатительной фабрике будет перерабатываться 40 тыс. т руды, что обеспечит годовой выпуск 750 тыс. т концентратов, содержащих около 140 тыс. т меди, а также соответствующее количество молибденовых концентратов.

В Мексике разведаны три месторождения меднопорфировых руд, из которых одно разрабатывается (Кананея) и два (Ла Каридау и Ла Верде) подготавливаются к эксплуатации. Запасы руд Кананея составляют 500 млн. т при среднем содержании меди 0,7%. Годовая добыча руды достигает 8 млн. т, извлечение меди 88%, выпуск металла — 45 тыс. т.

Месторождения меднопорфировых руд разведываются в Аргентине, Эквадоре, Колумбии, Пуэрто-Рико и Панаме. В Аргентине наиболее интересным в практическом отношении представляется месторождение Пачон, расположенное на высоте 3900 м и приуроченное к кварцдиоритовой интрузии. Запасы руд составляют 550 млн. т при среднем содержании меди 0,65% и молибденита 0,015%. Предполагают, что месторождение продолжается на территории Чили. Эксплуатация его будет начата в 1980 г. Затраты на подготовительные работы и строительство сооружений составят 250—400 млн. долл. От месторождения уже проложена железнодорожная ветка до г. Ла-Хунта.

В Панаме крупнейшее значение приобрело месторождение Серро-Колорадо, запасы руд которого превышают 2 млрд. т при среднем содержании меди 0,81%. Оруденение локализуется в гранодиоритах, диоритах, а также во вмещающих их андезитах; прослежено 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.

Широко распространенные в США месторождения порфировых руд расположены в юго-западных штатах — Юта, Нью-Мексико, Аризона и Невада. Они составляют основу медных ресурсов страны, удельный вес их в добыче меди и попутно извлекаемого молибдена достаточно велик. В стране насчитывается 30 месторождений меднопорфировых руд, в том числе 9 месторождений с запасами не менее 4 млн. т меди в каждом.

По размерам запасов и добычи меди самым крупным месторождением является Бингем (рис. 30), открытое в штате Юта в 1906 г. Медно-молибденовая минерализация месторождения приурочена к северо-восточной эндоконтактной части штока сильно раздробленных, оквар-

цованных и серицитизированных монзонит-порфиров. Рудная залежь овального сечения прослежена в длину 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 приурочено к висячему боку (над трещинной зоной), где монзониты наиболее интенсивно раздроблены и гидротермально изменены. Глубина зоны окисления изменяется от 6 до 50 м, зона вторич-

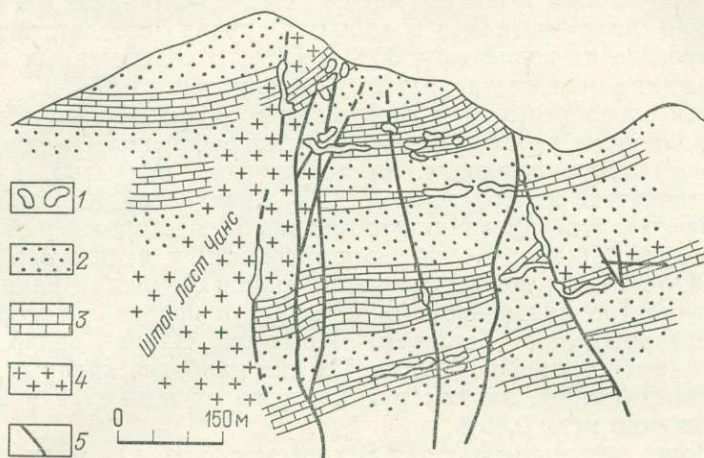


Рис. 30. Шпротный разрез штока Лаш Чанс на месторождении Бингем (США). По Р. Хэнту и Х. Пиккоку.

1 — забой в свинцово-цинковых рудах; 2 — кварциты; 3 — известняки; 4 — монзониты; 5 — трещинные залежи

ного обогащения прослеживается до глубины 250 м, глубина распространения первичных сульфидных руд превышает 500 м.

Запасы меди на месторождении в 1945 г. оценивались в 3720 тыс. т при среднем содержании металла в руде 1,0%. После произведенного пересчета по новым кондициям запасы меди увеличились до 10 млн. т, а запасы молибдена до 750 тыс. т. Годовая добыча руд достигла 35 млн. т, выпуск меди — 350 тыс. т, 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%, молибдена — 90%. Попутно с медью из руд извлекаются молибден, золото и серебро. В юго-западной части рудного поля рассматриваемого месторождения, в основном в роговиках и скарнах экзоконтакта, развиты полиметаллические руды (участок Лаш Чанс). Содержание свинца в них от 2 до 11%, цинка от 0 до 10%. Кроме того, в рудах присутствует значительное количество серебра и золота.

Запасы меди второго по масштабу минерализации месторождения Сан Мануэль, открытого в Аризоне в 1956 г., составляют 7,5 млн. т, молибдена — 150 тыс. т. Добыча руд на месторождении достигла 2,5 тыс. т, в сутки, годовой выпуск меди — 180 тыс. т, молибдена — 2,5 тыс. т, при среднем содержании в добытой руде меди 0,69%, молибдена 0,015% и их извлечении 92% и 70%. Видное место в стране по добыче меди принадлежит также месторождению Моренси, открытому в Аризоне в 1942 г. Запасы меди здесь составляют 4,4 млн. т,

молибдена — 35 тыс. т. Годовая добыча руды достигает 18 млн. т, выпуск меди 180 тыс. т, при содержании в добытой руде 0,83% и извлечении 75%.

В целом по стране в разработку вовлекаются все больше месторождений 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 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%.

Сравнительно невысоким содержанием меди и повышенным содержанием молибдена характеризуются меднопорфировые (медно-молибденовые) руды многочисленных месторождений, открытых и освоенных промышленностью в последние годы в Британской Колумбии в Канаде. Всего в этой провинции разведано 12 месторождений с общими запасами руд 3270 млн. т, содержащих 14 млн. т меди и 315 тыс. т молибдена. Особенно выделяется рудный район Хайленд-Валли, расположенный в центре нижнеюрского батолита, в пределах которого выявлены месторождения Бетлехем, Лорнекс, Вэлли-Коппер, Хаймонт, Джей-Эй, Троян, Оливин и Мэggi. Из них наиболее крупным представляется Вэлли-Коппер, запасы руд которого оцениваются в 900 млн. т при содержании меди 0,46%.

Наиболее крупным является Бетлехем с 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 представляется месторождение Айленд Коппер. Запасы руд его определены в 280 млн. т, меди в них — 1450 тыс. т, молибдена — 48 тыс. т. В добываемых рудах содержание меди составляет 0,52%, молибдена 0,17%, в одноименных концентратах меди 24% и молибденита 90% при общем извлечении 88 и 67%.

Разрабатываются и более бедные руды. Так, 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 месторождений Казино 0,37 и 0,04%, Гибралтар 0,37 и 0,01% и Бренда 0,18 и 0,03%.

Многочисленные месторождения меднопорфировых руд выявлены в других прибрежных районах Тихого океана, особенно на Филиппинах, где пять месторождений 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, в 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. Подготавливаются к разработке еще ряд месторождений. В 1976 г. начало эксплуатироваться месторождение Кармен с запасами 267 млн. т руды, содержащей 0,44% меди. Суммарные затраты на его освоение составят 80 млн. долл. Мощность обогатительной фабрики запланирована в 35 тыс. т/сут.

Меднопорфировые руды третичного возраста разведаны также в Малайзии, где подготавливается к эксплуатации месторождение Мамут, расположенное на о. Калимантан. Достоверные запасы его руд составляют 80 млн. т при содержании меди 0,63%. Оруденение пруро-

чено к диоритовым порфирирам и вмещающим их серпентинизированным сланцам и песчаникам. По проекту годовой объем добычи составит 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, по размерам запасов (900 млн. т руды, содержащей 0,48% меди и 0,56 г/т золота) выделяется Пангуна, расположенное на о. Бугенвиль. Месторождение разрабатывается открытым способом. Суточная добыча превышает 80 тыс. т руды, а годовой выпуск меди в концентратах составляет 180 тыс. т. Затраты на освоение месторождения составили 400 млн. долл. В 1973 г. здесь добыто и переработано свыше 29 млн. т руды, содержащей 0,73% меди, 1,03 г/т золота и 1,99 г/т серебра, из которой получено 183 тыс. т меди в концентратах, 20 т золота и около 49 т серебра.

Разведывается ряд месторождений в Папуа Новой Гвинее; запасы одного из них (Ок-Теди) оценены в 155 млн. т руды, содержащей 0,75% меди и 0,5 г/т золота. 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.

Запасы руд месторождения Маунт-Фабилай по предварительным данным оцениваются от 150 до 360 млн. т руды, содержащей 0,6—1% меди и свыше 5 г/т золота, и месторождения Фред-Ривер — в 366 млн. т руды с содержанием меди 0,45%. Проектная мощность обогащательного предприятия на месторождении Маунт-Фабилай определена в 30 тыс. т руды в сутки. Ввод в строй намечен на 1979 г. В первые два года эксплуатации предусматривается получать около 95 тыс. т меди в концентрате и 7 т золота. Расчетная себестоимость 1 кг меди, включая расходы по добыче, обогащению и транспортировке, составит 0,44 долл.

В Средиземноморском рудном поясе, кроме месторождений Закавказья, по масштабам промышленного оруденения выделяется месторождение Сар-Чешмех, разведенное недавно в Иране. Оно приурочено к штоку гидротермально измененных гранодиоритов олигоцен-миоценового возраста, внедрившемуся в толщу тонкозернистых туфов и андезитовых лав палеогена. Достоверные запасы богатых руд до глубины 150 м превышают 300 млн. т при среднем содержании 1,2% меди, из них 25 млн. т содержат в среднем 2% меди. 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 превысит 100 тыс. т.

К этому рудному поясу относится также месторождение Медет, расположенное в Болгарии и приуроченное к комплексу кварц-монцит-диоритовых и кварц-монцит-порфировых даек. Рудная минерализация прослеживается по простиранию на 1000—1200 м, вкrest простирания на 200—300 м и по вертикали более чем на 500 м от поверхности. В последнее время в Пакистане обнаружены медные проявления порфирирового типа в интрузивных породах палеогенового возраста, прорывающих вулканогенно-осадочную толщу того же возраста. По предварительным исследованиям, руда содержит 0,7% меди, значительное количество молибдена, золота и серебра. Крупная меднорудная зона

выявлена также в Бангладеш. Она простирается от индийской границы на западе до г. Рангпура на востоке.

Большое экономическое значение имеют *медистые песчаники**, которые хотя и уступают меднопорфировым месторождениям по общим запасам меди, но обычно отличаются от последних исключительно высоким качеством руд.

В рудах Замбии, например, среднее содержание меди составляет 3,3%, а в разрабатываемых рудах Заира оно превышает 4%. Кроме того, они содержат промышленные концентрации кобальта, цинка, германия, урана и ряда других полезных компонентов. Руды отличаются весьма благоприятными горнотехническими условиями эксплуатации, и большая часть их может быть отработана открытым способом. Характерной особенностью месторождений является крупный масштаб оруденения, пластообразная форма залежей (мощностью до нескольких десятков метров) и равномерное содержание в них полезных компонентов. Месторождения тесно связаны с осадочными терригенными сероцветными породами и приурочиваются к краевым частям платформ и участкам ранней консолидации геосинклинальных областей.

Одним из крупнейших в мире районов развития медистых песчаников является Катанга — Родезийский меденосный пояс в Африке, протянувшийся вдоль границ Заира и Замбии. Общая площадь распространения промышленных руд в пределах меденосного пояса составляет примерно 50 тыс. км². На начало 1975 г. общие запасы меди составили 90 млн. т (23% суммарных запасов меди капиталистических и развивающихся стран), в том числе достоверные и вероятные — 46,4 млн. т (15%). Несколько больший удельный вес медистые песчаники рассматриваемого пояса занимают в общей добыче меди в странах капиталистического мира — в 1974 г. 20%. В медистых песчаниках меденосного пояса сосредоточено 1230 тыс. т, или 41% общих, и 980 тыс. т, или 64% достоверных и вероятных запасов кобальта капиталистических и развивающихся стран. Годовая добыча кобальта из этих руд в 1974 г. составила 19,5 тыс. т, или 78% мировой (без СССР) добычи.

В пределах меденосного пояса продуктивными являются протерозойские осадочные отложения роан системы катанги, представленные в нижних горизонтах мощными аркозовыми конгломератами, которые вверх по разрезу постепенно и последовательно сменяются грубозернистыми песчаниками, тонкозернистыми песчаниками, глинистыми сланцами и карбонатными породами, преимущественно доломитами. Отложения системы роан отличаются большой фациальной изменчивостью.

По последним данным, абсолютный возраст оруденения 600 млн. лет, что соответствует верхнему протерозою. Это подтверждается также данными определения абсолютного возраста уранинита месторождения Шинколобве (630 млн. лет).

Минерализация приурочена обычно к определенным слоям и горизонтам, но некоторые горизонты, оруденелые в одном районе, не несут оруденения в другом. В Замбии рудоносные горизонты представлены главным образом слабометаморфизованными и дислоцированными сланцами, аргиллитами, полевошпатовыми песчаниками и кварцитами (рис. 31). В Заире рудоносными являются доломиты или доломитовые сланцы, расположенные в разрезе значительно выше. Они претерпели

* Под этим термином принято понимать не только собственно медистые песчаники, но и другие разновидности осадочных терригенных и хемогенных пород, содержащих аналогичную медную минерализацию.

более интенсивную складчатость и разбиты 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, залегают согласно с вмещающими породами и вследствие интенсивной складча-

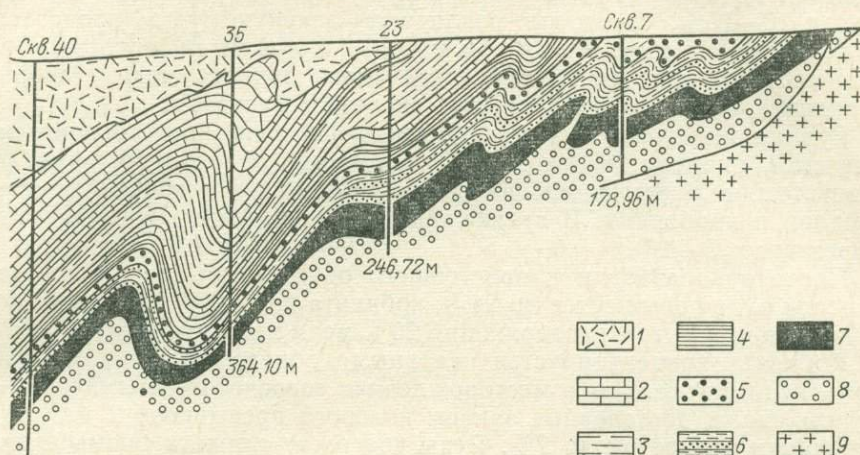


Рис. 31. Геологический разрез месторождения Чамбиши (Замбия).

1 — габбро; 2 — доломиты; 3 — песчаные сланцы; 4 — кварциты и сланцы; 5 — верхний горизонт кварцитов; 6 — кварциты висячего бока; 7 — сульфидные руды; 8 — кварциты лежащего бока; 9 — граниты

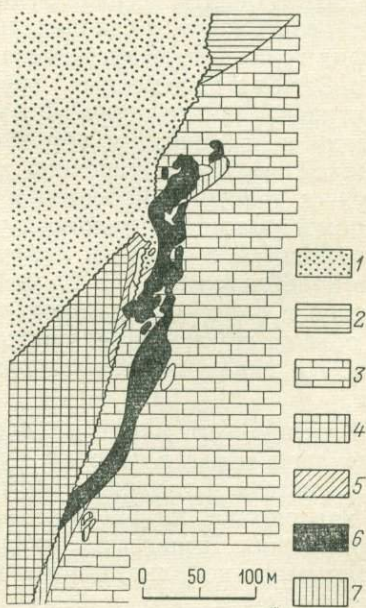


Рис. 32. Геологический разрез рудника Принц Леопольд месторождения Кипуши (Заир).

1 — брекчия; 2 — сланцы; 3 — доломиты; 4 — известковистые сланцы; 5 — известковистые сланцы с медной минерализацией; 6 — доломит с медной и полисульфидной минерализацией; 7 — цинковая руда

тости нередко выходят на поверхность. В значительной части они доступны для открытых разработок. В отдельных случаях оруденение наблюдается также вдоль зон разломов и надвигов (рис. 32).

Мощность рудоносной свиты достигает 80 м, мощность рудоносных пластов колеблется от 2 до 35 м. Длина их по простиранию также изменяется в широких пределах от десятков до тысячи и более метров. Отчетливо выражена зона окисления, глубина которой на некоторых

месторождениях свыше 150 м. В верхней зоне окисления развиты малахит, азурит, хризоколла, куприт, самородная медь, гетерогенит, асболоан и другие, в зоне вторичного обогащения — борнит, халькозин и ковеллин.

Разрабатываются преимущественно окисленные руды, в богатых разностях которых среднее содержание меди достигает 6—9%, а нередко и 10—15%. Среди них различают «зеленую руду», представленную главным образом малахитом и хризоколлой, и «черную руду», которая состоит из сложной землистой смеси окислов 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 встречаются кварц, турмалин и карбонаты. В сульфидных рудах содержание меди обычно не превышает 3—4%.

После рудоразборки и простейшего обогащения содержание меди в зеленой руде повышается до 24%, кобальта до 4—5%; из черной руды получается концентрат, содержащий 20% меди и 2% кобальта.

Кобальт концентрируется главным образом в зоне окисления. Кроме меди и кобальта, в месторождениях сосредоточены значительные ресурсы цинка, достоверные 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 компоненты. В ряде рудных залежей месторождения Принц Леопольд содержится в значительном количестве рениерит — сложный сульфид германия, меди, железа и мышьяка.

В Замбии меденосные горизонты приурочены преимущественно к континентальным обломочным отложениям, залегающим на древних гнейсах и гранитах и образующим ряд крупных мульд. Оруденение в каждой мульде приурочено к определенному литологическому горизонту — к доломитизированным кварцитам, слюдястым песчаникам или сланцам. 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 спускающаяся ниже уровня грунтовых вод, составляет 80—100 м. На ряде участков окисленные руды встречены на глубине более 200 м.

В отличие от медистых песчаников Заира в Замбии преобладают сульфидные руды, в которых рудные минералы представлены халькозином, борнитом и халькопиритом. Смешанные и окисленные руды (малахит, хризоколла, халькозин, халькопирит, борнит) добываются на месторождениях Нчанга и Западное Нчанга. В рудах почти постоянно присутствуют кобальт, цинк и нередко уран в тысячных, иногда сотых долях процента.

Крупными районами размещения медистых песчаников являются Восточная Сибирь и Центральный Казахстан в Советском Союзе, Мансфельд в ГДР и Нижняя Силезия в Польше.

В СССР в Восточной Сибири они приурочены к верхам сакуканской свиты удоканской серии нижнего протерозоя, сложенной кварцитовидными песчаниками с прослоями и линзами кварц-карбонатных пород, песчаников, алевролитов и аргиллитов. Горизонт медистых песчаников слагает синклиналиную складку; контуры его выходов образуют на по-

верхности замкнутую эллипсовидную полосу. Обычно меденосный горизонт не имеет четких границ, характеризуется наличием раздувов, пережимов, выклиниванием на отдельных участках и выделяется только по наличию в породах медной минерализации. Оруденение прослежено на глубину свыше 1,5 км. Основная масса руд представлена сульфидами меди. Малахит, реже азурит и хризоколла образуют налеты, корочки и примазки на плоскостях слоистости и трещиноватости. Суль-



Рис. 33. Геологический разрез через Джезказганскую мулду в районе Центрального рудного поля.

1 — красноцветная толща перми; 2 — джезказганская свита; 3 — нижний карбон (визе); 4 — рудные залежи

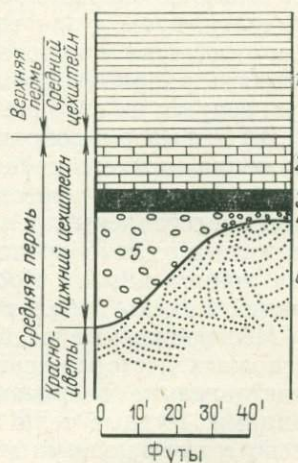


Рис. 34. Стратиграфический разрез через пермские отложения Мансфельда (ГДР).

1 — ангидриты; 2 — известняки; 3 — медистые сланцы; 4 — белые песчаники; 5 — конгломераты цехштейна; 6 — песчаники красного лежня

фидные медные минералы представлены главным образом халькозином, значительно меньше борнитом, халькопиритом, ковеллином и образуют мелкую вкрапленность, линзочки и прожилки.

Месторождения медистых песчаников Центрального Казахстана приурочены к лагунно-континентальным и морским отложениям карбона, преимущественно к серым кварц-полевошпатовым песчаникам, перекрытым пестроцветными песчано-глинистыми и мергелистыми отложениями пермского возраста (рис. 33). Здесь установлено до 15 оруденелых пластов, объединенных в девять стратиграфически выдержанных рудоносных горизонтов. Оруденение приурочено к антиклинальным куполам и синклинальным прогибам и представлено вкрапленностью сульфидов в цементе песчаников, реже в виде заполнения трещин. Залегание рудных тел пологое (до 10%), лишь местами они падают круто (до 75%). Глубина залегания до 300—500 м. Рудные тела представлены пластовыми, изометричными в плане залежами, размеры которых варьируют в широких пределах.

Рудообразующими минералами первичной зоны являются пирит, халькопирит, борнит, халькозин, галенит, сфалерит и блеклые руды. По минеральному составу среди руд выделяются медные, медно-свинцо-

вые, 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. Перспективными для выявления новых месторождений типа медистых песчаников представляются западные районы Советского Союза, примыкающие к меденосному району Нижней Силезии в Польше. Промышленное оруденение может быть выявлено в пределах Донбасса, Западного Предуралья, Западного Прибайкалья и Красноярского Приангарья и в смежных с Удоканским меденосным бассейном районах Якутской и Бурятской АССР.

В ГДР в районе Мансфельда медистые сланцы относятся к нижнему цехштейну перми (рис. 34) и представлены главным образом тонко рассланцованными битуминозными мергелями, которые в виде пыли (шпейзы) и тонких импреньций содержат различные соединения меди, главным образом борнит и халькозин, ассоциирующие с пиритом, галенитом, тетраэдритом, сфалеритом. В качестве незначительной примеси сланцы содержат 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 Польше в районах Нижней Силезии, как и в ГДР, продуктивны отложения нижнего цехштейна, сложенные в низах песчаниками, переходящими выше в известковистые глины и мергели. Рудные минералы в них представлены преимущественно халькозином, в меньшей мере — борнитом и халькопиритом, образующими рассеянную вкрапленность и реже тонкие жилки. Кроме меди, руды содержат свинец, молибден, ванадий, никель, кобальт и серебро.

Месторождения медистых песчаников известны также в КНР, где в основных месторождениях рудоносными являются образования синия, представленные кварцевыми песчаниками, карбонатными породами и сланцами. Рудные тела имеют пластообразную форму и залегают согласно с вмещающими их породами. Основными рудными минералами являются борнит и халькопирит, в небольших количествах присутствуют тенорит, энаргит. Для наиболее богатых руд характерна плейчатая-полосчатая текстура и преобладание в составе халькозина; иногда встречаются сетчатые и крупновкрапленные руды, но уже с преобладанием борнита. Менее крупные проявления медистых песчаников Китая заключены в пермских угленосных отложениях. Рудные залежи их обычно пластообразной формы, характеризуются бобовым сложением. Основной рудный минерал — халькозин, в небольших количествах присутствуют борнит, халькопирит и пирит. Средний размер конкреций около 2 см. Встречаются мелкие обломки кварца с халькопиритом, купритом и турмалином, а также конкреции марказита и одиночные зерна куприта.

Многочисленные, но преимущественно небольшие месторождения бедных руд типа медистых песчаников распространены в ряде районов США. 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 0,67% меди. 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.

Несмотря на весьма длительное изучение медистых песчаников, вопрос о генезисе этих крупнейших месторождений меди однозначно не решен, и до настоящего времени продолжается оживленная дискуссия между сторонниками экзогенной и гипогенной гипотез. В пользу экзогенной гипотезы происхождения руд, по мнению ее сторонников, свидетельствуют:

а) пластовый характер и приуроченность минерализации к определенным литологическим горизонтам;

б) статиграфическая выдержанность рудоносных горизонтов, слоистое их размещение, а также постоянство минерального состава по простиранию и резкая изменчивость его в направлении, перпендикулярном к простиранию;

в) отсутствие следов рудоподводящих каналов и видимых путей проникновения рудных растворов вне пределов минерализованных зон;

г) отсутствие минерализации в некоторых горизонтах, благоприятных для проявления эпигенетических процессов, и видимой связи ее с тектоническими нарушениями.

Считают, что часто наблюдаемое зональное распределение рудных минералов обусловлено особенностью осадконакопления, которое происходило в условиях мелководного морского эпиконтинентального бассейна, испытывавшего ритмические колебательные движения на фоне общего поднятия района. Осаждение металлов происходило в порядке, обратном степени растворимости их сульфидных соединений; в связи с этим, например, ближе к берегу отлагалась медь, что подтверждается приуроченностью наиболее богатого оруденения к более грубым осадкам.

Сторонники гипогенной гипотезы происхождения медистых песчаников приводят в качестве аргументов следующие факты:

а) приуроченность рудных залежей к резко выраженным структурам, концентрация в ряде месторождений наиболее богатого оруденения вдоль зон тектонических нарушений и наличие рудных тел жильной формы;

б) первичная зональность минерализации, которая проявляется как в пределах отдельных залежей, так и в вертикальном разрезе месторождения;

в) широкое развитие кальцита, кварца и барита; наличие в рудах топаза и турмалина, а также высокая температура образования борнита, судя по его структуре;

г) развитие сульфидов в виде каемок вокруг силикатов, которые они замещают.

Помимо двух изложенных выше гипотез происхождения медистых песчаников, существует третья, также не лишняя основания, согласно которой циркуляция гидротермальных растворов обусловила только перераспределение металлов в ранее образованных осадочно-сингенетических рудных слоях.

Более широко, чем месторождения медистых песчаников и медно-порфировых руд, распространены месторождения меди *колчеданного типа*. Обычно они характеризуются менее крупными масштабами минерализации, но удельный вес их в разведанных запасах и добыче меди

все же значителен, особенно в Канаде и Советском Союзе. Залежи весьма разнообразны по форме (пласто-, линзо- и штокообразные) и масштабам. Размеры рудных тел по простиранию и падению колеблются от десятков до многих сотен метров при значительной мощности.

Для ряда месторождений весьма характерна значительная глубина минерализации при небольшом протяжении рудных залежей по простиранию. Так, рудная залежь Юнайтед Верде в США прослежена до глубины 1800 м от поверхности без заметного изменения качества руд. На месторождении Матамбра (Куба) наиболее крупное рудное тело прослежено до глубины 1200 м.

Запасы меди отдельных месторождений обычно не превышают 100—300 тыс. т и только в редких случаях встречаются более крупные месторождения. Разработка их, как правило, осуществляется подземным способом, но вполне рентабельна, так как попутно с медью из руд извлекаются цинк, золото, серебро, сера, железо и много других компонентов, стоимость которых в несколько раз превышает стоимость меди.

Содержание меди в медноколчеданных рудах колеблется от 1 до 5%, в среднем в месторождениях капиталистических и развивающихся стран оно близко к 1,4%, в СССР — к 2%. Большинство промышленных медноколчеданных месторождений приурочено к подвижным поясам, отличающимся в доорогенной стадии эвгеосинклинальным типом развития — накоплением мощных вулканогенных толщ офиолитовой формации. Наиболее перспективными для медноколчеданного оруденения являются участки широкого развития среди вулканогенных толщ средних и кислых дифференциатов (от андезит-дацитового до липаритового состава).

Не всегда удается достоверно установить возраст серно- и медноколчеданных месторождений, приуроченных к докембрийским образованиям. Многие исследователи считают, что основные месторождения этого типа сингенетичны с заключающими их вулканогенными толщами.

В Канаде, США, Финляндии и Швеции они в основном имеют докембрийский возраст, в Советском Союзе, Китае и странах Западной Европы — главным образом палеозойский, на Кубе, Кипре, в Иране и Югославии — кайнозойский. В последнее время многочисленные месторождения медноколчеданных руд разведаны и освоены промышленностью в Канаде, образование которых связывается с мезозойским магматизмом.

Небольшие месторождения меди мезозойского возраста встречаются на Аляске и в Калифорнии. Этот же возраст имеет часть медноколчеданных месторождений Японии, а также большинство медных месторождений Китая, расположенных в районах платформенной области и связанных с ньшаньскими движениями.

В СССР районом распространения медноколчеданных месторождений является Урал. Месторождения расположены в зеленокаменной полосе восточного склона, где большая часть их приурочена к комплексу кислых и средних эффузивно-пирокластических пород, к так называемой андезит-альбитофировой формации на Среднем Урале и спилиткератофировой — на Южном Урале.

Рудные залежи имеют форму крутопадающих линз, столбов, жил, залегающих более или менее согласно с вмещающими породами. Размеры их варьируют в широких пределах. По простиранию они имеют длину от нескольких десятков метров до нескольких километров;

длина по падению иногда довольно значительна; мощность изменяется от нескольких дециметров до 70 м и более.

Руды сплошные массивные или вкрапленные, по содержанию ведущих полезных компонентов разделяются на медноколчеданные, серноколчеданные, медно-цинковоколчеданные, цинговоколчеданные. Кроме меди, цинка, железа и серы в рудах обычно присутствуют свинец, кадмий, галлий, висмут, германий, сурьма, селен, теллур, индий, молибден, никель, кобальт, ванадий, мышьяк и некоторые другие элементы.

Для колчеданных месторождений Урала весьма характерна вертикальная зональность, которая отчетливо выражается в выделении (сверху вниз) зон окисления, выщелачивания, сульфидного обогащения и первичных руд; обнажающиеся на поверхности месторождения представлены обычно «железными шляпами», сложенными бурыми железняками, которые в прошлом разрабатывались в качестве железных руд.

Основная часть (80%) балансовых запасов меди в месторождениях данного типа заключена в массивных медноколчеданных и медно-цинковоколчеданных рудах.

В связи с различной трактовкой условий образования колчеданных месторождений Урала различны взгляды и 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. В районе горы Карабаш и Сугурских гор установлены проявления колчеданной минерализации в серпентинитах, которые, судя по взаимоотношениям серпентинитов с фаунистически охарактеризованными известняками, относятся к послэйфельскому возрасту.

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. К второстепенным минералам относятся кобальтин, пентландит, магнетит, хромит, сфалерит, марказит-мельниковит. По минеральному составу преобладают пирротиновые и халькопирит-пирротиновые руды, меньше распространены пирит-пирротин-халькопиритовые.

Месторождения медноколчеданных руд разведаны и разрабатываются и в других районах страны, в частности на Северном Кавказе и в Закавказье.

За рубежом наиболее крупными ресурсами медноколчеданных руд располагает Канада, где за последние годы достигнуты значительные успехи в выявлении и освоении месторождений этого типа. Ряд ранее известных разрабатываемых медноколчеданных месторождений (Норанда, Флин-Флон и др.) представлен метасоматическими залежами массивных и вкрапленных руд, залегающих в докембрийских вулканогенных породах, интродуцированных дайками кварцевых диоритов, сиенит-порфиоров и габбро (рис. 35). Руды отличаются комплексным составом и обычно содержат халькопирит, пирротин, пирит, галенит, арсенопирит, сфалерит и магнетит.

Запасы меди отдельных медноколчеданных месторождений оцениваются только первыми сотнями тысяч тонн, но из-за комплексного состава руд месторождения имеют большое экономическое значение.

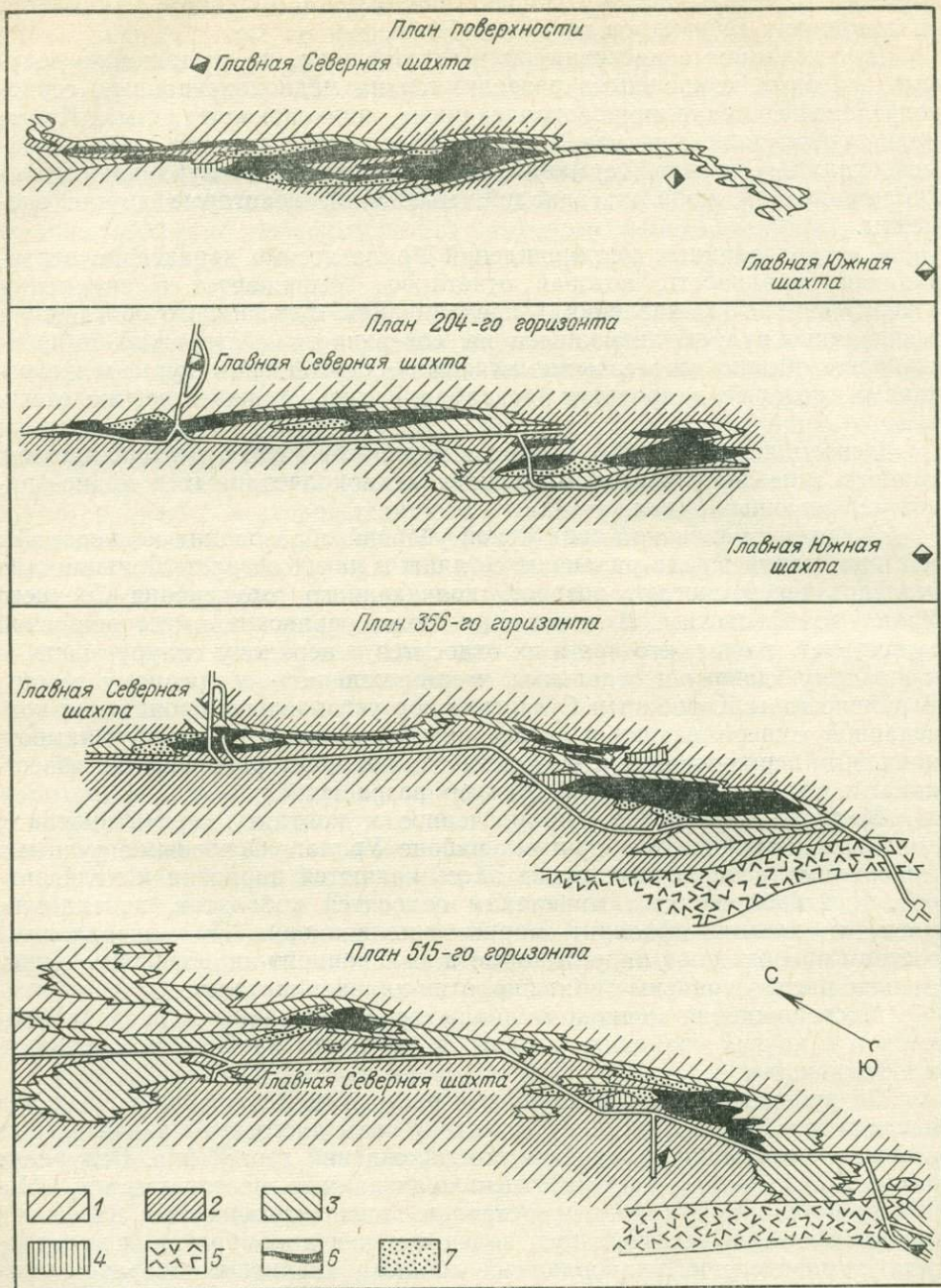


Рис. 35. Поверхностный и подземные планы рудника Флин-Флон (Канада).

1 — слаботрециноватые эффузивы; 2 — трещиноватые эффузивы и сланцы; 3 — кварц-порфировые потоки, силлы и расланцованные эффузивы; 4 — диориты; 5 — пограничные интрузии; 6 — плотные сульфиды; 7 — рассеянные сульфиды

Среднее содержание меди в рудах месторождения Норанда составляет 2,13%. Руды богаты самородным золотом и его теллуридами. Здесь известно 25 золотосодержащих залежей, в которых среднее содержание золота составляет 4,5—5,5 г/т, а в отдельных наиболее богатых участках достигает 100 г/т. Руды содержат также серебро и селен. По производству последнего предприятие Норанда занимало до последнего времени первое место среди капиталистических стран.

Наиболее крупным среди этих месторождений является Флин-Флон, расположенное в провинции Манитоба, достоверные запасы меди которого превышали 500 тыс. т при среднем содержании ее в рудах 2,72%, цинка 4,24%, золота 2 г/т и серебра 35 г/т.

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

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. 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 руды до глубины 600 м составляли 44,5 млн. т.

Медноколчеданные месторождения разрабатываются и в других провинциях страны. В Британской Колумбии они расположены в Кордильерах и приурочены к сильно метаморфизованным и часто брекчированным вулканогенно-осадочным образованиям верхнего триаса, прорванными 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 при ширине 69 м, другая — на 300 м при ширине 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 0,52%. Таков же возраст издавна разрабатываемого скарнового месторождения Френч, рудные скарны которого приурочены к контакту гранодиоритов с вулканогенно-осадочной толщей триасового возраста. 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 гранитом, диопсидом, волластонитом, геденбергитом, аксинитом и эпидотом.

В Онтарио по данным буровой разведки двух рудных зон месторождения Стерджен-Лейк подсчитаны запасы в 3,1 млн. т руды, с содержанием 6,2% цинка, 1,15% меди, 0,6% свинца, 102,3 г/т серебра и 0,341 г/т золота. В результате подсечения новой буровой скважиной неизвестной ранее рудной зоны на глубине приблизительно 427 м запасы на участке резко увеличиваются.

В Квебеке в районе Шибугамо разведуются руды с содержанием 4% меди и 10% цинка, 3,9 г/т золота и 74,6 г/т серебра. До глубины 150—180 м запасы руд оцениваются в 480 тыс. т. Нижние границы рудного тела еще не определены. Планируется проведение разведочных работ на соседних аномалиях и проходка шахты глубиной 300 м.

Среди известных в США месторождений медноколчеданных руд наиболее интересным в практическом отношении является издавна разрабатываемое месторождение Юнайтед Верде, расположенное в штате Аризона. Район месторождения 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 лежащем. Она представлена массивными рудами, сложенными пиритом с подчиненным количеством арсенопирита и халькопирита. Обычно присутствуют также сфалерит, тетраэдрит, магнетит и гематит, а в зоне вторичного обогащения — 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 при ширине 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 больше 2/3 уже 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 достигало 10—24%. Главным рудообразующим минералом наряду с пиритом являлся халькозин.

Большой научный и практический интерес представляет месторождение Серро-де-Паско в Перу, расположенное в Центральных Андах на высоте 4500 м над уровнем моря и приуроченное к жерлу вулкана диаметром около 2,5 км. Жерловина выполнена вулканическими брекчиями, агломератами и обломками боковых пород, пересеченными несколькими дайками кварц-монзонит-порфиров. На востоке жерловина окаймляется колчеданной залежью (длиной 1800 м при ширине до 130 м), образованной в кайнозое путем гидротермального замещения пирокластических пород и примыкающих к ним известняков. В пределах колчеданной залежи выделяются отдельные обогащенные участки с промышленным содержанием меди, свинца, цинка или серебра, имеющие форму жилообразных, линзообразных и столбообразных тел различных размеров.

В медных рудах среднее содержание меди составляет 4—5%, серебра 400 г/т. Свинцово-цинковые руды содержат 6,5—12% свинца, 18—21% цинка, 0,15% меди, 87—153 г/т серебра. Содержание цинка с глубиной повышается, а свинца — понижается. Месторождение Серро-де-Паско, несмотря на небольшой масштаб оруденения, представляет интерес с точки зрения комплексного использования его руд; из них извлекаются 24 компонента. Общие запасы меди в месторождениях

Перу оцениваются в 11 млн. т, в том числе достоверных — 4 млн. т. Годовая добыча 48 тыс. т меди.

Широко проявилась третичная медная минерализация на Кубе. Среди известных здесь месторождений медноколчеданных руд по масштабам промышленного оруденения выделяются Эль-Кобре и Матамбре. Эль-Кобре в прошлом считалось крупнейшим в мире источником меди. Разработка месторождения осуществлялась преимущественно открытым способом, а также рядом шахт, глубина которых достигала 390 м. По имеющимся неполным статистическим данным, за период эксплуатации месторождения с 1830 по 1868 г. добыто 775 тыс. т руды со средним содержанием меди 15%. За другой период с 1906 по 1919 г. из не тронутых ранее более бедных участков добыто 360 тыс. т руды со средним содержанием меди 7%.

Месторождение Матамбре разрабатывается с 1912 г и в настоящее время глубина разработки превышает 1000 м. В прошлом здесь добывались преимущественно богатые руды, в которых содержание меди составляло в среднем 11% и редко спускалось ниже 5%.

Месторождения медноколчеданных руд известны и в ряде стран Азии. Особенно широко они распространены в Китае, где колчеданные руды приурочены к верхнепалеозойским вулканогенным породам (альбитизированным липарит-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.

Сравнительно крупное месторождение (Эрцберг) в последние годы разведано в Индонезии, достоверные запасы руд которого составляют 33 млн. т при среднем содержании 2,5% меди, 0,8 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%.

В Западной Европе наиболее крупные ресурсы медноколчеданных руд сосредоточены в месторождении Оутокумпу, расположенном в юго-восточной части Финляндии. Рудная залежь месторождения приурочена к брекчированной зоне докембрийских кварцитов, имеет линзообразную форму и прослежена в длину на 3500 м при ширине 400 м и мощности от 1 до 15—17 м. Руды характеризуются комплексным составом. Среднее содержание в них меди 3,7%, железа 27%, цинка 0,8%, никеля 0,1%, кобальта 0,2%, мышьяка 0,1%, серы 27%, золота 0,8 г/т, серебра 9—12 г/т. Содержат они и ряд других полезных компонентов. Общие запасы оцениваются в 25 млн. т руды или 930 тыс. т меди, что составляет около 85% всех запасов меди страны. Примерно такой же удельный вес месторождение имеет по добыче меди. Из руд месторождения Оутокумпу, помимо черновой меди, производятся серная кислота,

жидкий сернистый газ и элементарная сера. Попутно извлекаются кобальт (до 50 т в год), никель, золото, серебро, селен. Пиритные огарки используются металлургией.

Небольшие месторождения медноколчеданных руд докембрийского возраста разрабатываются в Швеции и Норвегии. К нижнему палеозою относится месторождение Эвока в Ирландии. 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. Главные рудообразующие минералы — пирит, халькопирит, сфалерит и галенит. Среднее содержание в рудах меди 1—1,18%, цинка 0,63%, свинца 0,23%. Размеры рудных залежей колеблются в широких пределах. Наиболее крупная из них прослежена в длину на 600 м при средней ширине 30 м. Общие запасы меди оцениваются в 260 тыс. т, в том числе достоверные — в 160 тыс. т.

Сравнительно крупные ресурсы медноколчеданных руд разведаны в Югославии. Основные месторождения Бор и Майданпек расположены в Восточной Сербии. Руды генетически связаны с третичными эффузивами андезитового состава. Кроме меди руды содержат золото (0,5—2,5 г/т) и серебро (16—50 г/т). Общие запасы месторождения Бор оценивались в 40 млн. т руды со средним содержанием меди 3%. Из руд извлекается золото и серебро. Кроме того, организовано производство серной кислоты.

С юрским магматизмом генетически связаны многочисленные, преимущественно мелкие месторождения Албании, представленные колчеданными рудами, в которых наряду с пиритом и халькопиритом часто присутствуют пирротин и кобальтин, встречаются магнетит, гематит и псиломелан.

Колчеданные месторождения, генетически связанные с третичным вулканизмом, известны на Кипре. Запасы руд разрабатываемых месторождений оцениваются в 15—20 млн. т, при среднем содержании меди 1,3—3,5%. В рудах других месторождений содержание меди колеблется от 0,5 до 6%, серы от 48 до 50%.

Испания располагает наиболее крупными в мире ресурсами медистых пиритов, сосредоточенных в провинции Уэльва на площади 6 тыс. км². Вся эта территория сложена сланцами и граувакками девона и карбона, интенсивно дислоцированными и интродуцированными варисскими гранодиоритами и гипабиссальными кварцевыми альбитофирами; с последними генетически связывается оруденение. Основное промышленное значение имеют месторождения Рио-Тинто (рис. 36), разрабатываемые более 3000 лет. Рудные залежи месторождений линзообразной формы распространяются до глубины 550 м и отличаются сравнительно крупными размерами. Самая значительная из них (Сан-Дионисио) прослежена в длину на 1068 м при средней мощности 61 м в верхних горизонтах и 275 м на более глубоких горизонтах.

Встречаются линзы с площадью горизонтального сечения до 70 тыс. м² и запасами руды до 30 тыс. т на каждый метр глубины. Первичная руда представляет собой тонкозернистый и плотный агрегат пирита с небольшой вкрапленностью халькопирита, сфалерита, галенита и других сульфидов, которые обычно приурочены к краевым частям рудных тел, обладающих полосчатой текстурой. Первичные руды содержат 48—50% серы и 42% железа. Содержание меди незначительное и только в отдельных участках достигает 2,5%. Руды содержат от 0,25

до 1% мышьяка, следы висмута, селена и теллура. На всех месторождениях развиты «железные шляпы».

Общие запасы пирита оцениваются в 485 млн. т, меди — в 5,2 млн. т. Почти три четверти запасов (73%) меди в Испании приходится на месторождение Рио-Тинто (45%) и Тарсис (28%). Несмотря на наличие общих крупных ресурсов меди, разведанные запасы высокосортных руд (с содержанием меди 3—4%) в значительной мере ис-

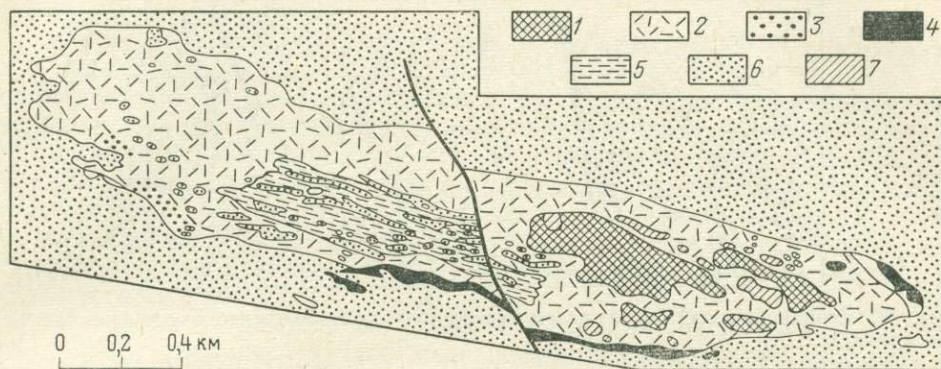


Рис. 36. Геологическая карта месторождения Рио-Тинто (Испания).

1 — железная шляпа; 2 — порфиры; 3 — краевая фация; 4 — массивные пириты; 5 — хлоритовые и кремнистые сланцы; 6 — сланцы; 7 — пиритизированные порфиры

черпаны, а эксплуатация руд, содержащих около 1,5—2% меди, при сравнительно большой глубине залегания рудных тел в экономических условиях Испании возможна только попутно при добыче пиритов.

Сравнительно редко встречаются промышленные месторождения собственно медных руд *скарнового типа*. Обычно они приурочены к контакту интрузивных пород сиенитового, гранодиоритового и гранитного состава с известняками и доломитами, редко с силикатными породами и представлены сплошными сульфидными и прожилково-вкрапленными рудами. Последние, как правило, отличаются исключительно сложным минеральным и химическим составом. Основными медьсодержащими минералами являются халькопирит и развитые преимущественно в зоне цементации борнит и халькозин. Из других минералов наиболее широко распространены пирит, пирротин, магнетит и разнообразные нерудные минералы — гранаты, пироксены, эпидот, амфиболы, хлорит, кварц, кальцит.

Весьма разнообразны и формы рудных залежей, среди которых преобладают гнезда, линзы, линзообразные, трубообразные и пластообразные тела, залегающие непосредственно в контакте или вблизи от него. В прошлом крупнейшим месторождением этого типа считалось Бисби в США, на котором за время эксплуатации добыто более 2 млн. т меди и попутно извлечено значительное количество золота и серебра. Годовая добыча руды, содержащей 5,6% меди, достигала 2 млн. т. Массивные пиритовые руды содержали халькопирит, борнит, реже — теннантит, сфалерит и галенит.

Ряд месторождений скарновых медных руд разрабатывается в Советском Союзе, преимущественно на Урале (Турьинские), в Казахстане (Саякские) и в Красноярском крае (Киялых-Узень, Юлия).

В основном это средние по масштабу оруденения месторождения, в рудах которых содержание меди составляет первые проценты.

В Китае скарновые месторождения приурочены к контакту яньшаньских гранодиоритов и диоритов с известняками карбона, перми или триаса или расположены в некотором удалении от этого контакта. Рудные тела представлены пластообразными залежами, гнездами, линзами и участками вкрапленных руд. Наибольшее значение имеют пла-

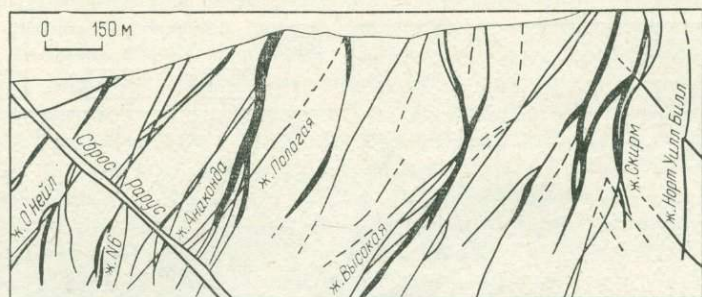


Рис. 37. Меридиональный разрез через меднорудное месторождение Бьютт близ шахты Анаконда (США)

стообразные 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 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.

Известные в ряде стран *жильные* месторождения меди не имеют существенного значения в запасах и добыче этого металла. Среди них уникальный научный и практический интерес представляет месторождение Бьютт в США (рис. 37). По данным А. М. Бетмана, на месторождении начиная с 1879 г. добыто меди на общую сумму около 2,3 млрд. долл., кроме того, из руд извлечено значительное количество серебра, золота, цинка, свинца и немного марганца.

Месторождение расположено близ нижнетретичного кварц-монцитового батолита Боулдер, интрузирующего андезиты мелового возраста. Дайки аплита и кварцевого порфира прорезают монцитит и секутся риолитовыми дайками. Месторождение состоит из большого числа крутопадающих трещинных жил и жил замещения, распространенных на площади несколько большей 18 км². Жилы прослежены на глубину свыше 1500 м и в плане их расположение отвечает классической структуре «конского хвоста». Кроме рудных жил, минерализация проявляется и в форме импреняций в монцититах и аплитах.

Жилы сложены почти нацело кварцем и содержат значительное количество пирита. Главными медными минералами являются халькозин, энаргит, борнит, халькопирит, теннантит, тетраэдрит и ковеллин. Встречается плотный или сажистый халькозин. Плотная разновидность халькозина гипогенного происхождения, сажистая — супергенного. Помимо медных минералов присутствуют сфалерит, реже галенит, самородное золото и серебро. Встречаются также родохрозит, кальцит, родонит, барит и флюорит.

Отмечается постепенный переход от богатых медью руд центральной зоны к цинковым и марганцевым рудам краевой зоны. Эта зональность выражается в последовательном распределении характерных минералов: энаргит — халькозин, борнит — халькопирит, сфалерит и родохрозит. В зоне окисления, глубина которой колеблется от 30 до 150 м, медь и серебро отсутствуют (полностью удалены), а карбонат марганца преобразован в окислы, в результате чего образовались небольшие остаточные марганцевые месторождения. Зона супергенного обогащения достигает местами глубины 300 м и характеризуется обильным развитием сажистого халькозина.

Несмотря на длительный срок интенсивной эксплуатации месторождения, оставшиеся запасы меди оцениваются более чем в 2 млн. т при среднем содержании ее в руде 2%. Если учесть, что за предыдущие годы здесь было добыто не менее 7 млн. т меди, первоначальные запасы этого металла составляли около 10 млн. т.

Ряд жильных месторождений меди в последние годы открыт и разведан в Канаде в провинции Британская Колумбия. Они приурочены к слабометаморфизованным докембрийским сланцам и карбонатным породам. Разведанные запасы руд отдельных месторождений превышали 1,2—1,5 млн. т при среднем содержании меди в рудах 3,18—3,92%, а на отдельных участках более 9%.

Широко развиты жильные месторождения в Аргентине, где они связаны с гипабиссальными интрузивными породами третичного возраста. 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.

Редко встречаются рудопроявления *самородной меди*, представляющие практический интерес. Исключением является месторождение Верхнего Озера (Лейк Сюпириор) в США, приуроченное к мощной осадочно-эффузивной толще протерозоя. 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, реже секущих жил отличаются разнообразными размерами и сравнительно постоянным, но невысоким содержанием меди. Средние мощности рудных залежей по отдельным участкам колеблются от 1,8 до 9 м, содержание меди в них 1,1—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 здесь сопровождается кальцитом, кварцем, эпидотом и пумпеллиитом. В оруденелых миндалекаменных породах развиты цеолиты, пренит и датолит. В секущих жилах рудные

Основные параметры
морфогенетических типов разрабатываемых промышленных месторождений меди

Морфогенетический тип месторождений	Содержание меди, %	Разведанные запасы отдельных месторождений меди, млн. т	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах, %		Годовая производительность горнообогатительных предприятий, тыс. т (руда медь)	
			открытой	подземной	в запасах	в добыче	при добыче открытым способом	при добыче подземным способом
Массивы штокверковых (прожилково-вкрапленных) руд Меднопорфировые	0,4—1,7	1,0—10,0	800	1000	55,0	40,0	$\frac{20\ 800}{270}$	$\frac{12\ 700}{180}$
	0,2—0,4 0,5—0,9	1,0—2,5	300	1000	1,0	2,0	$\frac{17\ 500}{105}$	—
Пластовые и пластообразные залежи	1,5—3,5	0,5—15,0	500	1300	15,0	20,0	$\frac{65\ 000}{260}$	$\frac{15\ 000}{80}$
Самородная медь в миндалекаменных эффузивах (выполнение пустот) и песчаниках (замещение цемента)	1,1—2,25	до 5,0	600	1600	3,0	1,0	Нет свед.	Нет свед.
Линзы и линзообразные тела массивных и прожилково-вкрапленных руд Медноколчеданные	1,5—4,0	0,1—4,0	500	2000	7,8	13,2	$\frac{4200}{120}$	$\frac{1100}{70}$
	0,9—1,2	0,25—0,9	400	1000	—	—	$\frac{1400}{15}$	—
Скарны	1,5—5,0	0,1—1,0	500	1000	2,8	2,4	$\frac{5000}{100}$	$\frac{1000}{20}$
Медно-никелевые	1,0—3,5	0,1—10,0	200	2000	1,8	10,0	—	$\frac{5000}{250}$
Жилы и жилообразные залежи	2,0—4,0	0,1—10,0	200	1500	4,6	4,0	—	$\frac{1700}{90}$
								—

минералы представлены халькозином, арсенидами меди, кобальта, никеля, а также самородной медью.

Месторождение меди Верхнего Озера разрабатывается с 1845 г. и за это время здесь добыто около 5 млн. т меди. Выработки достигли глубины 1600 м и большая часть оставшихся руд относится к разностям, содержащим 1% меди. Одни исследователи считают, что медь Верхнего Озера целиком привнесена гидротермальными растворами, другие полагают, что эти растворы обуславливали только перемещение и концентрацию меди в первичных сингенетичных осадочных рудах.

Единственным практически интересным представителем месторождений меди, генетически *связанных с карбонатитами*, является Палабора в ЮАР. Оруденение развито в виде интрузивной трубки в древних гранитах, имеющей неровную эллиптическую форму в разрезе и занимающей площадь 1813 га. Породы, слагающие трубку, представлены пироксенитом, фоскоритом и карбонатитом. Фоскорит содержит 25% апатита, а в карбонатитах развиты минералы меди, титана и магнетита. Запасы месторождения оцениваются в 300 млн. т руды при среднем содержании меди 0,7%.

Сравнительно крупными источниками меди являются месторождения *сульфидных медно-никелевых руд*, характеристика которых приведена в разделе «Никель».

Среди разведанных в мире многочисленных месторождений меди выделяются четыре морфогенетических типа (табл. 8).

СВИНЕЦ И ЦИНК

Месторождения свинца и цинка, как и месторождения меди, широко распространены во многих странах, но в отличие от них реже характеризуются крупными масштабами оруденения и достоверными запасами, превышающими несколько миллионов тонн по сумме металлов.

Среди наиболее крупных выделяются месторождения, представленные *пласто- и линзовидными метаморфизованными залежами массивных руд в кристаллических породах древних платформ*. К ним относятся месторождения Брокен-Хилл и Сулливан. В течение долгих лет они являются крупнейшими в мире источниками свинца и цинка.

Рудные тела месторождения Брокен-Хилл (рис. 38), находящегося в Австралии, в виде крупных линз и седловидных залежей залегают среди архейских кварцитов и кристаллических сланцев. Наряду с типичными для гидротермальных месторождений сульфидами свинца, цинка и других металлов руды содержат в заметных количествах цинковую шпинель, полевой шпат, марганцовистый гранат и пироксен, свидетельствующие об образовании руд в условиях высоких температур. Абсолютный возраст главных рудных залежей определен в 1480 млн. лет, но в пределах рудного поля месторождения развиты также сравнительно небольшие рудные тела, возраст которых 1020 ± 150 млн. лет. Предполагают, что они образовались за счет переотложения минералов первичных руд. В 1960 г. общие запасы свинца и цинка оценивались в 15 млн. т, а достоверные и вероятные в 6 млн. т. В разрабатываемых рудах среднее содержание свинца колеблется от 11,0 до 14,5%, цинка — от 11,0 до 12,5%. Годовая добыча этих металлов достигает 400 тыс. т. Попутно извлекаются медь, золото и серебро. Содержание серебра в рудах достигает 250 г/т. Месторождение издавна разрабатывается, но данные о суммарной добыче до 1960 г. отсутствуют.

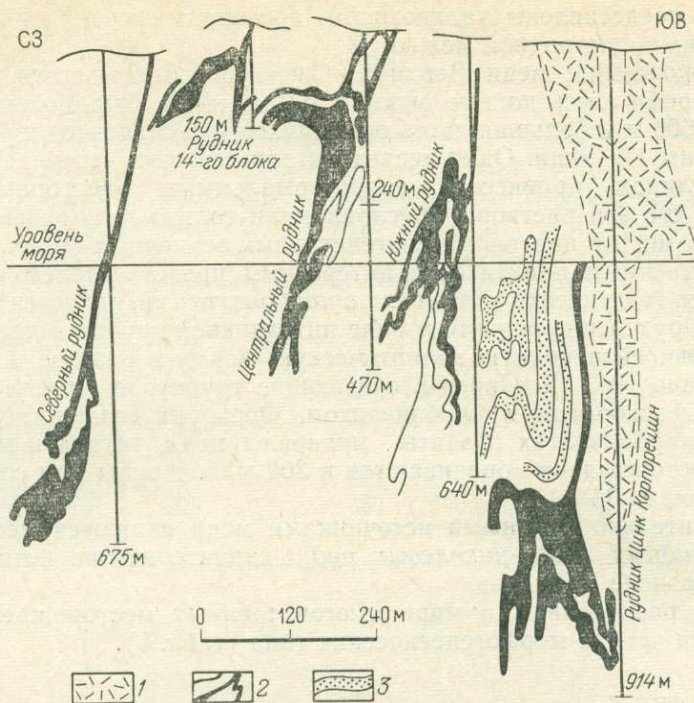


Рис. 38. Разрезы через месторождение Брокен-Хилл (Австралия).

1 — гнейсы; 2 — свинцово-цинковые руды; 3 — цинковые руды

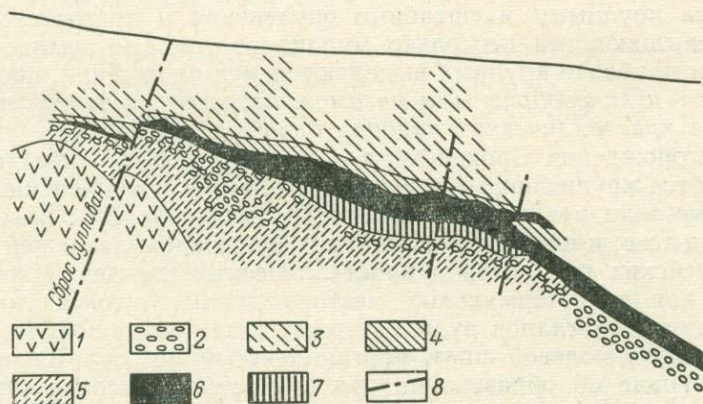


Рис. 39. Вертикальный разрез рудника Сулливан (Канада).

1 — габбро- и гранофировые породы; 2 — конгломераты лежащего бока; 3 — альбитовые породы; 4 — хлоритовые породы; 5 — турмалиновые породы; 6 — руды; 7 — пирротин; 8 — сбросы

Рудная залежь месторождения Сулливан в Канаде в виде крупной линзы длиной 1800 м и шириной 80 м залегает в своде и восточном крыле антиклинали, сложенной верхнепротерозойскими аргиллитами, алевролитами и кварцитами (рис. 39). В лежащем боку рудного тела вмещающие породы интенсивно турмалинизированы, висячем — альбитизированы. Основные рудные минералы галенит и сфалерит (мар-

матит), в переменных количествах присутствуют сульфиды других металлов, а также магнетит и касситерит. Из нерудных минералов встречаются гранат, диопсид, кальцит, хлорит и мусковит. За 65 лет эксплуатации месторождения добыто более 70 млн. т руды, а оставшиеся общие запасы оцениваются в 57 млн. т руды, содержащей суммарно 6,3 млн. т свинца и цинка. Добыча ведется на 11 горизонтах и в 1973 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 110 т цинкового (48% цинка).

Менее крупными масштабами оруденения характеризуется месторождение Маунт-Айза в Австралии. Оно залегает в докембрийских кристаллических сланцах в форме пласто- и линзообразных тел массивных и вкрапленных руд. Среднее содержание свинца в них составляет 7,8%, цинка 5,9%, а общие запасы этих металлов оцениваются в 3,5 млн. т. Месторождение является также крупным источником меди, руды которой образуют самостоятельные участки. Достоверные и вероятные запасы руд составляют 142 млн. т при среднем содержании 3% меди (4,2 млн. т). В 1972/1973 финансовом году добыто 4,4 млн. т руды, содержащей 2,9% меди.

В 20 км севернее Маунт-Айза разведано месторождение Хилтон, общие запасы которого оцениваются в 2,7 млн. т свинца и 3,4 млн. т цинка при среднем содержании в руде свинца 7,7% цинка 9,6% и серебра 180 г/т.

Большая часть мировых ресурсов свинца и цинка сосредоточена в средних и мелких по масштабу минерализации месторождениях, которые, однако, в совокупности часто образуют значительные рудные районы или провинции. Крупнейшей такой провинцией является долина Миссисипи в США. Она включает цинково-свинцовый район Три-Стейт (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. Преобладают *пластовые и пластообразные стратифицированные (стратиформные) залежи в карбонатных, реже терригенных, породах.*

Месторождения района Три-Стейт распространены на площади в 16 тыс. км² и приурочены преимущественно к карбонатной свите бонн и местами к перекрывающим ее известнякам, песчаникам и сланцам также миссисипского возраста. Мелкие непромышленные проявления полиметаллического оруденения установлены в вышележащих песчаниках и сланцах чераки пенсильванского возраста. Рудные пласты встречаются во всех стратиграфических горизонтах свиты бонн (на протяжении 100—120 м), сложенных известняками, кремнистыми и известково-кремнистыми породами. Основные рудоносные горизонты обычно представлены крупнозернистыми криноидными известняками, содержащими многочисленные кремнистые прослойки и желваки и залегающими в нижней части свиты. Ниже главных рудоносных горизонтов прослеживается весьма выдержанный кремнистый горизонт Грэнд-Фоллс мощностью 10—20 м, руды которого характеризуются более низким содержанием полезных компонентов.

В этом обширном районе рудная минерализация или замещает карбонатные пласты, или выполняет трещины в брекчированных кремнистых породах, не затрагивая сами кремнистые породы. Неправильная рукавообразная и кольцеобразная форма залежей основных рудоносных

горизонтов 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 варьируют в широких пределах. Длина наиболее крупных из них достигает 3 км при мощности 30 м и ширине от 3 до 100 м. Они залегают на сравнительно небольшой (30—90 м) глубине, 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 доломитом и кальцитом, кроме того, в рудах наблюдается значительное количество джаспероида, развитого за счет замещения карбонатов. Руды преимущественно цинковые. Среднее содержание цинка в добываемой руде составляет 3—5%, свинца 0,4—1,0%. На месторождении сосредоточены также значительные запасы более низкосортной руды с содержанием 2—3% цинка. В рудах отмечается значительное количество кадмия и германия. Месторождения разрабатываются с 1848 г., и к началу 1974 г. добыто 2,5 млн. т свинца и 10,5 млн. т цинка. Оставшиеся запасы свинца оцениваются в 1 млн. т при среднем содержании в рудах 0,42% и цинка — в 4,5 млн. т при содержании 2,7%.

Более важное значение в настоящее время имеет юго-восточный пояс Миссури, месторождения которого содержат преимущественно свинцовые руды. Рудный пояс 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 часто встречаются и массивные руды замещения, развитые вдоль напластования, или же в виде прожилков и небольших выполнений пустот. Мощность рудных пластов варьирует 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. Основным рудообразующим минералом является галенит, кристаллы которого нередко достигают 2,5 см в поперечнике. В качестве наибольшей примеси обычно 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 составляет 2,7—3,0%. Месторождения эксплуатируются с 1800 г. и дают ежегодно до 150 тыс. т свинца. Несмотря на столь интенсивную и длительную разработку оставшиеся запасы свинца оцениваются более чем в 2 млн. т.

Помимо издавна известных в Миссури многочисленных месторождений в последнее время выявлен и разведан ряд новых месторождений полиметаллических руд, образующих протяженный (около 72 км) свинцовый пояс Вибурнули. Прогнозные запасы руд оцениваются в 1 млрд. т при среднем содержании свинца 2,5—3,0% и цинка 1%.

Цинково-свинцовые руды района долины Верхней Миссисипи, охватывающего прилегающие части штатов Висконсин, Иллинойс и Айова, представлены вкрапленными пластовыми и реже трещинными массивными рудами, приуроченными к доломитам ордовикского возраста. Руды содержат сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, золото, марказит, миллерит, серебро, вюртцит. Из нерудных минералов отмечаются анкерит, барит, кальцит, доломит и кварц. В галените в качестве изо-

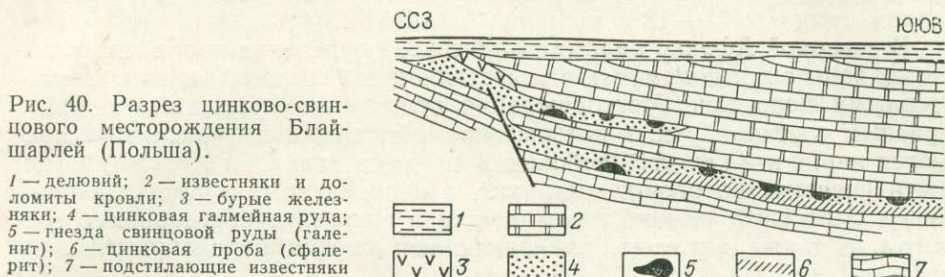


Рис. 40. Разрез цинково-свинцового месторождения Блайшарлей (Польша).

1 — делювий; 2 — известняки и доломиты кровли; 3 — бурые железняки; 4 — цинковая галмейная руда; 5 — гнезда свинцовой руды (галенит); 6 — цинковая проба (сфалерит); 7 — подстилающие известняки

морфной 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 мышьяк-кобальтовые минералы. С глубиной повышается содержание доломита и кварца. Отмечается горизонтальная зональность оруденения, выраженная в преимущественном развитии свинцовых руд на периферии района, а цинковых — в центральной его части.

Дискуссия о происхождении полиметаллической минерализации рудной провинции долины Миссисипи имеет почти вековую давность, и все же этот вопрос остается неразрешенным. Хотя большинство исследователей считают эти месторождения гидротермальными и относят их к классу телетермальных, образованных при низких давлениях и температурах, тем не менее нельзя полностью игнорировать и ряд весьма существенных доводов в пользу гипотезы сингенетичного осадочного происхождения руд, которая в последнее время стала достаточно популярной.

Месторождения, приуроченные к определенным стратиграфическим горизонтам мощных толщ карбонатных пород типа долины Миссисипи, известны под общим названием — стратиформные, широко распространены и в ряде других стран. За рубежом к ним относятся полиметаллические месторождения Польши (рис. 40), ряд мезозойских месторождений Испании и многочисленные месторождения Северной Африки, образующие обширную провинцию в пределах Туниса, Алжира и Марокко, а также месторождение Пайн-Пойнт в Канаде. Рудные залежи месторождения Пайн-Пойнт различных размеров и преимущественно линзообразной формы приурочены к среднедевонским доломитам. Они прослеживаются в пределах двух параллельных оруденелых зон на протяжении 48 км при ширине от 3 до 6,5 км. Разведанные запасы свинца составляют 1 млн. т при содержании в руде 2,5% и цинка — 2,5 млн. т при содержании 6,0%. Общие запасы этих металлов оцениваются соответственно в 5 и 8 млн. т.

В Польше свинцово-цинковые месторождения приурочены к известнякам и доломитам среднего триаса и распространены на значи-

тельной площади, включающей ряд синклиналильных структур. Среди них по масштабу минерализации особенно выделяется Бейтенская синклиналь, в пределах которой главный рудоносный слой средней мощностью 4 м содержит сфалерит, галенит и пирит. В меньшей степени здесь развиты каламин и церуссит. На 15 м выше по разрезу местами развиты вторая рудная зона, в которой главными рудообразующими минералами являются каламин и галенит. В разрабатываемых рудах содержание цинка превышает 8,5% и свинца 1%. Встречаются руды с содержанием цинка до 16—18% и свинца 1,5—3,5%.

В северной Африке полиметаллическое оруденение проявлено в лейасовых эоценовых доломитах и известняках без видимой связи с магматогенными породами. Месторождения отличаются сравнительно однородным 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 обилён смитсонит, обычно переходящий в состояние растворимого голларита, а также англезит, изменяющийся в церуссит с образованием гипса.

В Советском Союзе к этому типу относятся полиметаллические месторождения хребта Каратау (Миргалимсай и др.), приуроченные к карбонатным отложениям. Пластообразные залежи промышленных руд 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 и свинец.

Сравнительно широко распространенный тип промышленных месторождений свинца и цинка представлен неправильной формы *метасоматическими залежами преимущественно в карбонатных породах*, реже в алюмосиликатных. Месторождения образуют ряд протяженных рудных зон в США, Мексике, Перу, Боливии, Чили и Колумбии, в районах, тяготеющих к Тихоокеанскому побережью. Характерным для всей этой рудной провинции является повышенное содержание в рудах серебра (первые сотни граммов на тонну) и наличие месторождений собственно серебряных руд. Морфология рудных тел зависит от состава вмещающих пород. В силикатных породах преобладают трещинные жилы, в карбонатных — различной формы метасоматические залежи. Месторождения часто ассоциируют с вулканогенными породами и почти постоянно находятся в пространственной связи со штоками и дайками монцонит-порфиров, андезитов, диабазов и других гипабиссальных пород. В Мексике они представлены месторождениями замещения в известняках и доломитизированных известняках мелового возраста. Менее интенсивно полиметаллическая минерализация проявлена в третичных андезитах, риолитах, а также в гранитах, монцонитах и близких к ним по составу других интрузивных породах, с которыми генетически (в смысле общности магматического очага) связывается оруденение Мексиканского плато. В карбонатных отложениях преобладают трубо- и пластообразные рудные тела, в вулканогенных и интрузивных породах развиты преимущественно жилы. Основными рудными минералами являются галенит и сфалерит. Характерно высокое содержание серебра, достигающее 300—500 г/т. В рудах, приуроченных к карбонатным отложениям, наряду с кварцем, кальцитом и баритом, почти

постоянно присутствуют гранат, пироксен, везувиан и эпидот. Разведано более 100 месторождений. Запасы свинца наиболее крупных из них достигают 200—350 тыс. т и цинка 500 тыс. т, а суммарные запасы этих металлов во всех метасоматических месторождениях оцениваются в 4,2 и 6,4 млн. т.

К вулканогенно-осадочным образованиям третичного возраста приурочены многочисленные месторождения метасоматических полиметаллических руд в Перу, генетически связанные со штоками и дайками монцонит-порфиров и другими гипабиссальными интрузиями. Большая часть из них расположена вдоль главного хребта Высоких Анд Центрального Перу, где они прослеживаются на протяжении 350 км.

Большое экономическое значение имеет месторождение Серро-де-Паско (рис. 41) в Перу. Оно расположено на высоте 4500 м над уровнем моря и приурочено к жерлу вулкана диаметром около 2,5 км.

Свинцово-цинковые руды отличаются исключительно разнообразным минеральным составом, включающим 28 гипогенных минералов. Руды содержат более 20% свинца и цинка и до 400 г/т серебра. Общие запасы свинца и цинка достигают 2 млн. т. Кроме того, месторождение Серро-де-Паско является крупнейшим источником висмута.

Южным продолжением рудного района Перу являются месторождения полиметаллических руд Боливии, сосредоточенные в Кордильерах.

В Африке крупный район развития метасоматических полиметаллических руд расположен в Намибии, где по масштабам минерализации выделяются месторождения Цумеб и Абенаб. Оруденение приурочено здесь к зонам брекчирования в докембрийских доломитах и доломитизированных известняках. Наряду с медью, свинцом и цинком руды содержат промышленные концентрации ванадия (2—3% пятиоксида) и в переменных, иногда значительных количествах плавленый шпат. Крутопадающие рудные залежи отличаются высоким качеством и прослежены до глубины более 1000 м. На месторождении Цумеб разведанные запасы свинца составляют 1 млн. т, цинка и меди по 400 тыс. т при среднем содержании этих металлов соответственно 14,5—15,2; 4,0—5,9 и 2,6—7,6%.

Месторождения метасоматических полиметаллических руд в карбонатных породах разведаны и разрабатываются в ряде других стран.

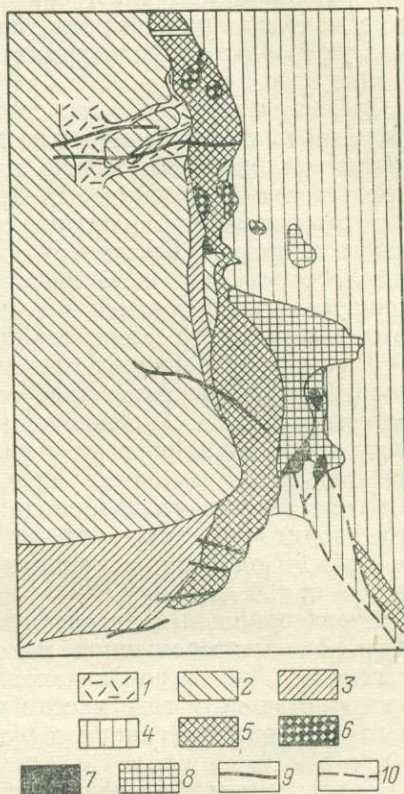


Рис. 41. Схематическая геологическая карта месторождения Серро-де-Паско (Перу).

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

В Ирландии к ним относятся месторождения Тайнах и Сильвермайнз, приуроченные к известнякам и доломитам нижнего карбона. Достоверные запасы свинца в этих месторождениях составляют соответственно 840 и 320 тыс. т, а цинка 660 и 920 тыс. т при содержании в рудах Тайнах свинца 4,7—8,5%, цинка 4,2—6,5%, меди 0,6% и серебра 62 г/т, а в рудах Сильвермайнз — свинца 2,8%, цинка 8,2% и серебра 25 г/т. В Италии метасоматические полиметаллические руды известны на о. Сардиния, где они приурочены к кембрийским известнякам и доломитам. Общие их запасы оцениваются в 550 тыс. т свинца и 1300 тыс. т цинка при содержании в рудах этих металлов соответственно от 2 до 5% и от 5 до 8%.

В Советском Союзе обширный район с многочисленными небольшими месторождениями метасоматических полиметаллических руд, залегающих преимущественно среди палеозойских карбонатных пород, расположен в Восточном Забайкалье. Редко полиметаллические руды локализуются здесь в осадочных силикатных и эффузивных породах юрского возраста. Генетически полиметаллические руды этого района связаны со средне- и верхнеюрскими гипабиссальными интрузиями. Главными рудообразующими минералами являются кварц, анкерит, доломит, кальцит, турмалин, серицит, халцедон, каолинит, пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, буланжерит, тетраэдрит, халькопирит и аргентит. В зависимости от количественного соотношения этих минералов различаются более 10 основных разновидностей руд, нередко связанных между собой постепенными переходами. Кроме свинца и цинка руды часто содержат мышьяк, сурьму, олово, медь и ряд рассеянных элементов. Весьма разнообразна морфология рудных тел. Преобладают трубы и линзообразные залежи, реже встречаются штоки, штокверковые зоны. Содержание свинца в рудах колеблется от 1,1 до 10,6%, цинка — от 0,9 до 14,6%.

К разнообразным палеозойским осадочным и эффузивным породам приурочены месторождения метасоматических полиметаллических руд в пределах Джунгаро-Балхашской и Южно-Тяньшаньской областей. Пространственно и генетически все они связаны с герцинскими интрузиями. Содержание свинца в рудах колеблется от 1,7 до 4,0%, цинка от 0 до 6%.

К типу метасоматических относится также Горевское месторождение в Красноярском крае. Рудные залежи месторождения пласто- и линзообразной формы залегают в основном согласно с вмещающими доломитизированными и окварцованными известняками синия, прорванными дайками и штоками оливиновых долеритов. Абсолютный возраст последних, определенный калий-аргоновым методом, составляет 915 млн. лет. С оливиновыми долеритами парагенетически связано образование, представленное вкрапленными, прожилково-вкрапленными и массивными рудами плейчатой и полосчатой текстуры. Основными рудообразующими минералами являются 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%, цинка от 0,1 до 14,8%.

Менее широко распространены *метасоматические полиметаллические руды, связанные со скарнами*. Преобладают мелкие месторождения, мало интересные в практическом отношении. За рубежом наиболее крупными из них представляются месторождения Камиока в Японии и Треча в Югославии. Месторождение Камиока сложено из

вестняками палеозоя и мезозоя, прорванными кайнозойскими интрузиями гранитоидов. Оруденелыми являются пироксеновые скарны, в которых содержание свинца колеблется от 0,3 до 2,5% и цинка от 4,5 до 8,5%. Достоверные запасы этих металлов превышают 2 млн. т.

Примерно таким же масштабом оруденения отличается и месторождение Трепча, сложенное нижнепалеозойскими филлитами, серицит-кварцевыми и хлорит-кварцевыми сланцами, мраморизованными известняками и кварцитами, на которых с размывом и резким угловым несогласием залегают третичные вулканогенно-осадочные породы. Весь этот комплекс прорван трубообразными телами трахитов и долеритов. Выделяются четыре стадии формирования месторождения: 1) образование ильваит-геденбергитовых скарнов с гранатом, амфиболом, эпидотом, магнетитом и пиритом; 2) отложение пирит-пирротиновых руд; 3) формирование свинцово-цинковых руд (главная стадия оруденения); 4) отложение друзовых агрегатов карбонатных минералов и кварца. Свинцово-цинковые руды с глубиной сменяются рудами пирит-пирротинового состава, увеличивается содержание серебра и висмута, возрастает содержание свинца по отношению к цинку. Среднее содержание свинца в рудах составляет 6,9%, цинка 4,3%, серебра 118 г/т.

В Советском Союзе к типу инфильтрационных скарнов относятся месторождения Дальнегорской группы в Приморском крае. 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. Рудные залежи имеют неправильные, часто трубчатые формы. Основными минералами являются марганцовистый геденбергит, кварц, кальцит, сфалерит и галенит; в существенных количествах встречаются аксинит, гранат, пирит, пирротин, халькопирит и арсенопирит, в небольших количествах — халцедон, барит, арагонит, серицит и др. В окисленных рудах преобладают церуссит, смитсонит, малахит и куприт.

Широко распространен скарновый тип оруденения в Центральном Казахстане и в Средней Азии, в частности — в Западном Кармазаре. Рудоносные скарны являются основным промышленным типом, хотя сульфидная минерализация проявилась также в сланцах, эффузивах и интрузивных породах. Для большинства месторождений характерно крутое падение рудных тел, 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. Более широко скарновые месторождения распространены в пределах западной оконечности Кураминского хребта (Алтын-Топкан и др.). На месторождении Алтын-Топкан выделяются (рис. 42):

- линзообразные залежи на контакте даек (преимущественно гранодиорит-порфиры) и карбонатных пород;
- линзы вдоль субширотных нарушений;
- межпластовые залежи в карбонатных породах;
- трубы на пересечении трещин.

Наиболее благоприятными для промышленного оруденения представляются гранат-пироксеновые и пироксеновые скарны.

Крупные ресурсы свинца и особенно цинка сосредоточены в месторождениях, приуроченных к вулканогенным породам. Они отличаются высоким содержанием в рудах сульфидов железа, главным образом пирита, реже пирротина. В Советском Союзе и за рубежом их принято

выделять в качестве самостоятельной группы *колчеданных полиметаллических месторождений*.

Одним из известнейших в мире районов распространения месторождений этого типа является Рудный Алтай в Советском Союзе. Этот район протягивается более чем на 500 км при ширине до 60—100 км. Месторождения приурочены к осадочно-эффузивным, преимущественно туфогенным породам среднего и верхнего девона. Они образо-

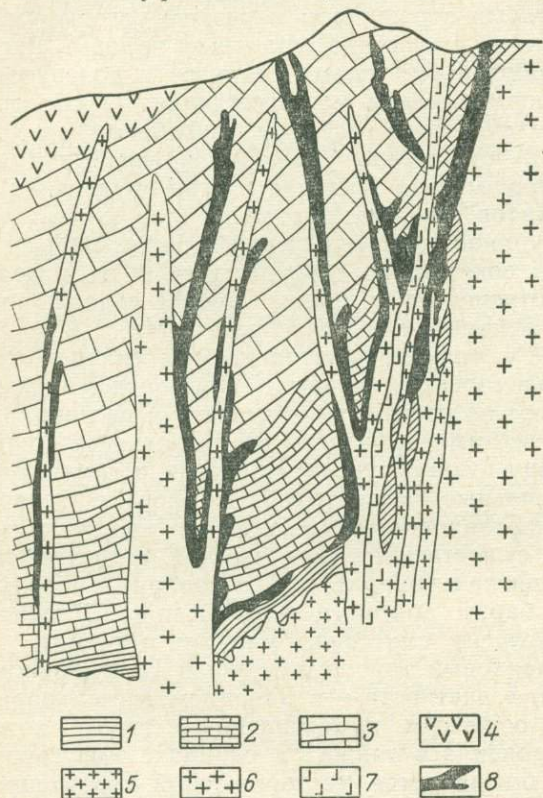


Рис. 42. Схематический поперечный разрез скарнового месторождения Алтын-Топкан. По А. А. Амир-асланову.

1 — эффузивно-осадочные породы; 2 — доломиты; 3 — известняки; 4 — туфы; 5 — гранодиориты; 6 — гранодиорит-порфиры; 7 — гранит-порфиры; 8 — скарновые руды

200 м. Полиметаллами минерализована в той или иной степени вся рудовмещающая толща пород. Промышленные контуры определяются по данным химических анализов, на основе установленных бортовых содержаний основных компонентов. Оруденение прослежено на значительную глубину.

Колчеданно-полиметаллические месторождения разведаны также в Центральном Казахстане (Жайремское), Узбекистане (Хандизинское), Закавказье (Филизчайское) и Бурятии (Озерное).

Широко распространены колчеданные месторождения в зарубежных странах. Они разрабатываются в Канаде, Бирме, ФРГ, Швеции, Финляндии, Китае и др.

вались путем метасоматического замещения вмещающих пород и представлены кулисообразно расположенными рудными телами, слагающими рудные зоны протяженностью до нескольких тысяч метров. Формы рудных тел очень сложные (сочетания межпластовых и седловидных тел с секущими), реже встречаются небольшие жильные месторождения. Размеры рудных залежей варьируют в широких пределах. Длина их по простиранию изменяется от десятков до тысячи метров и более, мощность — от нескольких до 100 м. Руды характеризуются сложным минеральным составом и содержат в промышленных концентрациях свинец, цинк, медь. Попутно могут извлекаться кадмий, селен, теллур, галлий, таллий, сера, барит и др.

Процессы супергенного изменения руд в ряде месторождений достигают глубины более

В последнее время ряд крупных месторождений колчеданных полиметаллических руд (Гамсберг, Блэк-Маунтин и Эггёнис) открыт в Капской провинции в ЮАР. Рудные и пластообразные тела месторождения Гамсберг мощностью от 9 до 30 м прослежены на протяжении 4,5 км. Подсчитанные запасы руд составляют 93,5 млн. т при среднем содержании цинка 7,41% и свинца 0,55%. На базе месторождений проектируется создание предприятия с годовой выплавкой электролитного цинка 100 тыс. т. Общая стоимость ввода месторождения в эксплуатацию определена в 119 млн. долл. Сравнительно крупными масштабами характеризуются также месторождения Блэк-Маунтин (86 млн. т руды при содержании свинца 2,3—2,9%, цинка 0,5, меди 0,8% и серебра 16—24 г/т) и Эггёнис (69 млн. т руды при содержании свинца 3,0—4,5%, цинка 2,2—2,3%, меди 0,4% и серебра 31—53 г/т).

К группе колчеданно-полиметаллических относятся также месторождения халькопирит-сфалеритовых руд, занимающие сравнительно большой удельный вес в запасах и добыче не только меди, но и цинка и отчасти свинца. Из зарубежных стран они наиболее широко распространены в Канаде, где преимущественно связаны с докембрийским и мезозойским магматизмом. В Советском Союзе районом развития колчеданных месторождений этого типа является Урал (см. раздел «Медь»). В рудах многих колчеданных месторождений содержание цинка значительно превышает содержание меди.

Крупнейшим колчеданным месторождением Канады является Кидд-Крик. Разведанные запасы руд до глубины 85 м составляют 95 млн. т при содержании 9,75% цинка и 1,52% меди. За семь лет разработки (с 1966 по 1973 г.) добыто 24,8 млн. т руды, содержащей 2,73% цинка, 1,53% меди, 0,39% свинца и 132,48 г/т серебра. Ведутся работы по расширению рудника в связи с выявлением оруденения на глубине свыше 1200 м. Пройденная в 1974 г. глубокая разведочная скважина пересекла на горизонте 1100 м богатую руду, содержащую 5,54% меди, 0,59% цинка и 24,9 г/т серебра, а затем на интервале 1200—1300 м — бедные вкрапленные руды. Намечено пройти шахту глубиной 1,5 тыс. м, а также построить рафинировочный завод мощностью 100 тыс. т в год и стоимостью 120 млн. долл.

В месторождениях вышеохарактеризованных типов часто наряду с основными морфологическими формами продуктивных залежей развиты и рудные жилы, также имеющие практическое значение.

Сравнительно широко распространены в ряде стран жильные месторождения полиметаллических руд, вне пространственной связи последних с рудами свинца и цинка другого морфологического типа. Обычно они характеризуются небольшими масштабами промышленного оруденения. Наиболее крупным в мире районом распространения месторождений жильного типа является Кер д'Ален, расположенный в штате Айдахо, США. Он занимал одно из ведущих мест в США по запасам и добыче свинца и цинка и являлся крупнейшим в мире источником серебра. Рудный район площадью более 800 км² в основном сложен протерозойской толщей кварцитов, аргиллитов и карбонатных пород общей мощностью около 6000 м, интродуцированной штоками монцонитов и дайками диабазов и лампрофиров. Штоки монцонитов рассматриваются как отдельные выступы крупного Айдахского батолита позднемезозойского возраста. Отчетливо выражен контактовый метаморфизм кварцитов и аргиллитов вблизи интрузивов. В контактовой зоне шириной

15—30 м развиты магнетит, гранат, пироксен, биотит, эпидот и андалузит.

Разрабатываемые рудные жилы отличаются крупными размерами и крутым падением. Некоторые из них достигают по длине 2300 м при средней мощности 3 м. Они сложены в основном сидеритом и галенитом, в меньших количествах встречаются пирит, сфалерит и сереброносный тетраэдрит. В рудах присутствуют также халькопирит, магнетит, арсенопирит, пирротин, кварц, кальцит, доломит и барит, реже встречаются джемсонит, борнит, халькозин, стибнит, буланжерит, бурнонит, герсдорфит и шеелит. Считают, что образование сульфидов происходило в две стадии — сначала выделялись пирротин, пирит, халькопирит и арсенопирит, затем галенит, сфалерит, джемсонит. Устанавливается зональность, проявляющаяся в уменьшении соотношения свинца и цинка с глубиной: в отдельных жилах зафиксировано последовательное увеличение относительных количеств сфалерита и затем пирита в направлении от центральных зон к периферическим. Промышленное оруденение прослеживается до глубины 1200 м и более от поверхности. В добытых рудах среднее содержание свинца составляло 7,2%, цинка — 4,6% и серебра — 180 г/т.

Менее значительные промышленные полиметаллические жильные месторождения, генетически связанные с кайнозойскими гипабиссальными интрузиями, известны в Мексике, Перу, Чили, Боливии и Аргентине.

Большое количество мелких месторождений жильного типа выявлено в Нигерии в пределах протяженного пояса (около 550 км), сложенного нижнемеловыми (дотуронскими) глинистыми сланцами, песчаниками, аргиллитами, реже известняками. Жилы отличаются разнообразными размерами, протяженность отдельных систем жил достигает нескольких тысяч метров при длине отдельных жил до нескольких сотен метров. Основными рудными минералами являются сфалерит, галенит, 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 окисленной зоне развиты главным образом церуссит и англезит. Встречаются жилы, где среднее суммарное содержание свинца и цинка превышает 20—30%. Перспективные запасы свинца в этом районе оценивались в 1100 тыс. т, цинка в 550 тыс. т.

К жильному типу относятся месторождения свинцово-цинковых руд Болгарии, приуроченные преимущественно к разнообразным эффузивным породам (трахиандезитам и андезитам) олигоценового возраста. На месторождении Маджарово протяженность рудных жил колеблется от нескольких сотен метров до 3—4 км, мощность — от 10—15 см до 15—20 см, а иногда и до 30 м. По вертикали оруденение прослежено на 700 м. Жилы сложены кварцем нескольких генераций, местами с кальцитом и баритом.

В Советском Союзе собственно жильные месторождения полиметаллических руд встречаются редко и удельный вес их в общесоюзных разведанных запасах и добыче ничтожен. Характерными представителями этого типа являются месторождения Садон и Згид на Северном Кавказе. Рудные жилы их локализованы в палеозойских гранитах. Жилообразной формой рудных тел характеризуются месторождения Восточного Карамазара в Средней Азии, приуроченные к толще эффузивов и туфов верхнего палеозоя — нижнего триаса. Жильные минералы

Основные параметры
морфогенетических типов разрабатываемых месторождений свинца (числитель) и цинка (знаменатель)

Морфогенетический тип месторождений	Содержание свинца и цинка, %	Запасы свинца и цинка отдель- ных месторожде- ний, млн. т	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и раз- вивающихся странах		Годовая производительность горнообогати- тельного предприятия, тыс. т			
			открытой	подземной	по запасам	по добыче	при добыче открытым способом		при добыче подземным способом	
							руда	Pb + Zn	руда	Pb + Zn
Пластообразные, седло- и лин- зовидные метаморфизован- ные залежи массивных руд сложного строения и соста- ва в кристаллических поро- дах докембрия древних платформ	7—12	0,8—3	400	1000	14	12			1200— 6000	150—400
	4—12	0,6—3			17	20				
Пластовые и пластообразные стратифицированные (стра- тиформные) залежи в кар- бонатных, реже терригенных, породах краевых и внутрен- них прогибов платформ	3—11	0,5—7,0	300	700	$\frac{29}{26}$	$\frac{25}{22}$	1000— 3500	80—250	200—4500	10—300
Неправильной формы (линзо- образные, трубообразные, гнездообразные и жильные) метасоматические залежи преимущественно в карбо- натных (часто скарнирован- ных, реже силикатных, по- родах складчатых областей	3—18	0,3—2,0	200	800	$\frac{30}{34}$	$\frac{30}{32}$	250—1500	12—90	200—1000	15—75
Пластообразные, линзообраз- ные и седловидные колче- данные залежи сложного со- става в вулканогенно-оса- дочных породах складчатых областей	4—13	0,3—2,0	200	1000	$\frac{10}{7}$	$\frac{8}{9}$	100—1500	10—160	150—3500	10—170
Жильные тела в породах раз- ного состава	5—20	0,1—1,0	30—50	500	$\frac{17}{16}$	$\frac{16}{17}$	50—150	3—10	50—1000	4—70

представлены флюоритом, баритом, кварцем и карбонатами, рудные — сульфидами свинца, цинка, железа, меди. Свинец преобладает над цинком. В качестве постоянной примеси руды содержат сурьму, мышьяк, висмут и др.

Россыпные месторождения свинца и цинка промышленного значения известны только в Китае, где они широко распространены в юго-западных районах страны. Они представлены элювиальными и делювиальными россыпями, залегающими на закарстованных известняках, и непосредственно связаны с коренными месторождениями. Длина наиболее крупных россыпей достигает 900 м при ширине до 200—300 м и мощности продуктивного горизонта от 1 до 15 м. Среднее содержание свинца в россыпях достигает 2%, цинка 5%, запасы этих металлов составляют первые сотни тысяч тонн.

Как видно из вышеизложенного, среди известных месторождений свинца и цинка, весьма разнообразных по времени образования, характеру вмещающих пород, морфологии рудных залежей и минеральному составу, могут быть выделены пять морфогенетических типов промышленных месторождений (табл. 9).

ОЛОВО

В отличие от других цветных металлов, большая часть мировых ресурсов олова заключена в *россыпных* месторождениях. В них сосредоточено примерно 70% разведанных запасов олова капиталистических и развивающихся стран и они же обеспечивают 75% общей добычи этого металла.

Богатейшие элювиальные, делювиальные и аллювиальные россыпи особенно широко распространены в Юго-Восточной Азии в пределах Малаккской оловоносной провинции, которая протягивается с территории Китая через Бирму и Таиланд в Малайзию и Индонезию. Их формированию способствовали региональное распространение коренных оловорудных месторождений преимущественно касситерит-кварцевой формации, благоприятные геоморфологические условия, сохраняющиеся с мелового периода, интенсивное выветривание коренных месторождений в условиях тропического климата.

Элювиальные россыпи отличаются высоким содержанием касситерита, но сравнительно скромными масштабами запасов. Нередко на глубине они постепенно смыкаются с сильно разрушенными частями коренных месторождений, породы которых также пригодны для переработки гидравлическим способом. Мощность элювия достигает 20—30 м; среднее содержание касситерита — 300 г/м³.

Более крупными представляются аллювиальные россыпи, распространенные почти повсеместно. Среди них встречаются как древние, обычно залегающие выше русел современных рек, так и молодые россыпи существующей речной сети. В Малайзии аллювиальные россыпи, образованные в плейстоцене, особенно широко распространены в долине 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 145×80 км (рис. 43). Промышленные россыпи известны и в других районах страны. Мощность продуктивной части отдельных участков россыпей достигает 60 м. Часто россыпь представлена двумя пластами оловоносных песков, из которых верхний залегаєт на ложном

плотике, представленном слоем глины. В прошлом разрабатывались россыпи, в которых содержание касситерита нередко достигало 5—6 кг/м³, в последние годы среднее его содержание в обрабатываемых россыпях не превышает 200 г/м³. Вместе с касситеритом из россыпей извлекаются вольфрамит и колумбит. Весьма характерной особенностью аллювиальных россыпей Малайзии является концентрация касситерита в «карманах» и впадинах известнякового ложа, в которых содержание касситерита достигает десятков килограммов на 1 м³.

Разработка россыпей в долине Кинта началась в 1870 г., за прошедшие годы из них извлечено около 2 млн. т олова — примерно 25% суммарной добычи этого металла из всех россыпей мира. В настоящее время здесь действуют более 350 гидромониторов и более 65 драг, обеспечивающих ежегодную добычу порядка 25 тыс. т олова. Годовая производительность одной драги в среднем составляет 370 т олова в концентрате, а производительность гидромонитора — 36,5 т.

Аналогичные аллювиальные россыпи распространены в Таиланде, Индонезии и Китае. Содержание в них касситерита колеблется в весьма широких пределах и в ряде месторождений превышало 800—1000 г/м³, что позволило рентабельно их разрабатывать даже при незначительной мощности (15 см) рудного слоя. Из многих россыпей попутно с касситеритом извлекаются вольфрамит и колумбит, а также монацит.

Длина аллювиальных россыпей от нескольких до десятков километров, ширина в большинстве случаев от 100 до 300 м, глубина до 30 м. Максимальная концентрация металла обычно приурочена к самым нижним слоям аллювия у плотика, сложенного элювиальными глинами, представляющими собой кору выветривания коренных пород. Толща рыхлых отложений, как правило, состоит из очень мелких фракций перемытой коры выветривания гранитов (каолиновые глины, песок, кварцевая дресва). Галечного материала в россыпи сравнительно мало, не более 15—20%, валуны встречаются редко. Среднее содержание олова на всю горную массу разрабатываемых россыпей дражным и гидравлическим способами составляет 200—300 г/м³, в отдельных случаях достигает 900 г/м³. Иногда головные части аллювиальных россыпей смыкаются с богатыми по содержанию олова элювиальными россыпями.



Рис. 43. Размещение оловянных месторождений в Малайзии

В Китае особенно значительным площадным распространением обладают элювиально-делювиальные и пролювиальные россыпи, связанные с разрушением касситерит-сульфидных руд. 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 вытянуты узкими полосами вдоль окраинных зон гранитных массивов и представлены в основном оловоносными глинистыми образованиями с песком и обломками пород. Месторождения отличаются преимущественно небольшими размерами (сотни, редко до десятков тысяч тонн олова), но высоким содержанием касситерита (1—4 кг/м³, нередко до 10 кг/м³).

Пролювиальные россыпи, обычно приуроченные к карстовым воронкам и промоинам у подножий склонов, представлены обломками породы и глинистым материалом. Запасы олова в наиболее крупных россыпях достигают десятков тысяч тонн. Содержание касситерита в отдельных россыпях колеблется от 1 до 10 кг/м³.

Высоким содержанием касситерита (от 400 до 4000 г/м³) характеризуются элювиальные россыпи Китая, представленные в основном глинами. Запасы олова отдельных россыпей превышают 1000 т.

Аллювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва зон оловоносных гранитов, как правило, характеризуются низким содержанием касситерита, но занимают значительные площади. Большой интерес эти россыпи представляют в качестве источников вольфрама и висмута.

В Австралии основными источниками питания многочисленных оловоносных россыпей служили докембрийские пегматиты и отчасти более поздние касситерит-кварцевые жилы и минерализованные граниты. Отдельные россыпи отличались высоким содержанием касситерита (более 2000 г/м³) и промышленными концентрациями тантало-ниобатов и золота. Большое практическое значение имела аллювиальная оловоносная россыпь Брайзерс, расположенная на о. Тасмания, в долине р. Рингарума. Мощность аллювиальных отложений этой долины, состоящих преимущественно из крупнозернистого кварцевого песка, достигает 150 м. Распределение касситерита в россыпи весьма неравномерное. В разрабатываемых участках среднее его содержание превышало 1500 г/м³. Вместе с касситеритом в россыпи присутствуют турмалин, монацит, топаз, корунд, циркон, пирит.

Россыпные месторождения олова в Боливии имеют второстепенное значение. В условиях резко расчлененного рельефа Центральных Кордильер редко создавались условия, благоприятные для накопления значительных масс оловосодержащего аллювия.

В настоящее время отработаны богатые россыпи Нигерии, содержащие около 1000 г/м³ касситерита. В добываемых теперь песках содержание его не превышает 300 г/м³. Попутно извлекается колумбит, танталит и вольфрамит. Разработка россыпей производится не только с поверхности, но и с применением подземных выработок глубиной до 25 м.

Судя по последним опубликованным данным, крупнейшие аллювиальные оловоносные россыпи выявлены в Бразилии в районе Рондония. Практический интерес, вероятно, может представить кора выветривания докембрийских метаморфических пород (очковых гнейсов

и др.) в Алжире, по последним данным опробования, содержание в ней касситерита достигает 200—250 г/м³.

В Советском Союзе выявлены и освоены промышленностью многочисленные оловоносные россыпи, но в отличие от зарубежных стран доля их в общесоюзных запасах олова не превышает первых процентов, а в производстве металла в концентрате достигает 25%. Большинство разрабатываемых россыпей расположено в районах Северо-Востока и представлено разнообразными генетическими типами — элювиальными, делювиальными, делювиально-аллювиальными, аллювиальными и переходными между ними, а также современными и древними прибрежно-морскими россыпями. Наиболее широко развиты делювиально-аллювиальные и аллювиальные россыпи, протяженность которых достигает нескольких километров, редко превышая 5—8 км. Источниками россыпей служили в основном месторождения и рудные проявления касситерит-кварцевой формации, в особенности грейзенового типа. К ним обычно тяготеют промышленные россыпи; максимальная их удаленность от коренного источника составляет 1—3 км, редко — 6—8 км. С месторождениями касситерит-силикатно-сульфидной, скарновой и риолитовой формаций крупные промышленные россыпи не связаны.

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 в настоящее время запасы олова в подводных россыпях обеспечивают большую часть добычи металла в этих странах. Результаты работ позволяют уверенно считать, что большинство россыпей представлено аллювиальным материалом, выполняющим древние речные долины, затопленные морем, поэтому поисково-разведочные работы направлены на изучение захороненного рельефа фундамента и выявление погребенных речных долин. Работы проводятся по профилям, расположенным вкосте 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 порядка 0,2—0,4 кг/м³, встречаются участки с содержанием в несколько килограммов на 1 м³.

Прибрежно-морские оловоносные россыпи на территории Советского Союза до последнего времени практически не изучались. Отдельные проявления россыпной оловоносности установлены на побережье Восточно-Сибирского и Чукотского морей.

В настоящее время крупные оловоносные россыпи с запасами олова в десятки тысяч тонн в мире встречаются сравнительно редко. Преобладают россыпи с запасами 0,5—3,0 тыс. т металла при среднем содержании касситерита в песках от 100 до 1000 г/м³. Средняя мощность продуктивного пласта колеблется от 0,7 до 1,5 м, торфов — от 3 до 10 м. Добыча олова из россыпей в большинстве случаев, даже при подземной их разработке, экономически рентабельнее, чем добыча коренных руд. Россыпи дают наиболее дешевые и высококачественные концентраты, и их промышленное освоение может быть осуществлено в короткие сроки при сравнительно незначительных капитальных вложениях.

Минимальное промышленное содержание касситерита, позволяющее экономически выгодно обрабатывать россыпь, в значительной мере зависит от ее размеров и способов разработки. Применение механизации

позволяет перерабатывать россыпи с содержанием олова от 100 г/м³ (дражные полигоны Малайзии и Таиланда), особенно если попутно извлекаются другие полезные компоненты. Дrajный способ добычи олова является наиболее дешевым, но современная крупная драга, стоимость которой составляет 3—3,5 млн. долл., может быть использована экономично только на россыпях, занимающих значительные площади, так как перемещение драги с одной россыпи на другую, связанное с ее разборкой и сборкой, обходится весьма дорого. Годовая производительность такой драги достигает 3 млн. м³ песков и даже при среднем содержании в них 100 г/м³ олова добыча составит 300 т металла.

Судя по статистическим данным из оловоносных россыпей капиталистических и развивающихся стран и Китая, за все время их разработки извлечено примерно 8 млн. т олова.

Большинство месторождений *касситерит-кварцевой формации* сосредоточено в Азии — Китае, Малайзии, Таиланде, Индонезии, Бирме и Советском Союзе. Все они имеют мезозойский возраст и представлены жилами, жильными зонами, штокверками и грейзенами. В Китае основное оловянное оруденение, как и вольфрамовое, генетически связано с интрузиями верхнемезозойских (яньшаньских) гранитоидов. В рудах месторождений рассматриваемой формации касситерит часто ассоциирует с вольфрамитом, и в зависимости от содержания этих минералов существуют многочисленные разновидности руд от собственно касситеритовых до чисто вольфрамитовых. Этот тип оруденения развит главным образом в эндоконтактных зонах, иногда в кровле интрузивов.

Месторождения олова касситерит-кварцевой формации Малайзии и генетически связаны с киммерийскими лейкократовыми порфирированными биотитовыми, реже двуслюдяными гранитами, прорывающими толщу триасовых отложений. Месторождения расположены как в гранитах — в узкой зоне эндоконтакта, так и во вмещающих песчано-сланцевых породах, реже — в известняках. Кварц-касситеритовые жилы часто сопровождаются штокверками и зонами оловоносных грейзенов. Основным рудным минералом в них является касситерит, обычно с ним ассоциирует вольфрамит; наряду с кварцем в жилах широко развит турмалин. Иногда в рудах присутствуют топаз, мусковит и берилл. Кварцевые жилы большей частью отличаются небольшими размерами. Длина их по простиранию и на глубину не превышает нескольких сотен метров при мощности 0,5—1,5 м. Преобладают сравнительно небольшие месторождения с запасами олова до 10 тыс. т при содержании его в руде 1—3%.

Более крупными запасами характеризуются месторождения штокверковых руд, содержащие 0,2—0,6% металла. Отдельные месторождения находятся вне видимой связи с рудоносными интрузиями, например, месторождение Клиан-Антан, расположенное в толще кристаллических сланцев, филлитов, графитовых и известковистых сланцев в 8—9 км от выхода гранитов. Кварцевые прожилки кроме касситерита содержат турмалин, пирит и хлорит вместе с небольшим количеством галенита, сфалерита и арсенопирита.

Сходные месторождения известны в Индонезии и Таиланде. Многие из них отличаются высоким содержанием касситерита (до 4% в пересчете на олово) и ассоциирующего с ним вольфрамита, но в связи с незначительными размерами залежей и возможностью отработки их лишь подземным способом практического интереса в настоящее время

не представляют. Большое значение имеют реже распространенные в этих странах месторождения касситерит-сульфидных руд, разрабатывавшиеся в прошлом.

Сотни месторождений, сосредоточенных в юго-восточной части Бирмы по границе с Таиландом и представленных кварц-касситерит-вольфрамитовыми жилами или штокверковыми зонами, обычно приуроченными к контакту мезозойских гранитных массивов, не имеют промышленного значения. Месторождения небольшие и, хотя они включают десятки рудных жил, суммарные запасы олова и вольфрама в них, за редким исключением, превышают 5 тыс. т. В рудах наряду с касситеритом и вольфрамитом присутствуют шеелит, разнообразные сульфиды, самородный висмут, берилл, магнетит и другие минералы.

За рубежом одним из наиболее крупных жильных месторождений касситерит-кварцевой формации является месторождение Айберфойл в Австралии, представленное серией кварцевых жил, приуроченных к контакту девонских гранитов с кварцитами и сланцами силура. Рудные жилы симметрично полосчатой текстуры в зальбандовых частях сложены кварцем, касситеритом, топазом и апатитом, в осевой части — кварцем с вольфрамитом, гематитом, пиритом, пирротинном, галенитом, стanniном, сфалеритом, бурнонитом и тетраэдритом. Содержание олова в рудах составляет 1,5% и трехокси вольфрама 0,18%. Общие запасы олова этого месторождения оценивались до 70 тыс. т.

Широко распространены месторождения жильного типа касситерит-кварцевой формации в восточных районах СССР. Для них также весьма характерна тесная ассоциация касситерита и вольфрамита; в зависимости от содержания этих металлов различают собственно вольфрамовые, вольфрам-оловянные и собственно оловянные месторождения. Месторождения часто сопровождаются штокверками и рудными грейзенами самых различных форм и размеров, в большинстве случаев мало интересных в практическом отношении. Руды отличаются весьма сложным и разнообразным комплексом элементов. Наряду с оловом и вольфрамом они нередко содержат свинец, цинк, висмут, мышьяк, молибден, индий, скандий, иттрий, рубидий. Для многих месторождений характерно постоянное присутствие флюорита и турмалина (рис. 44). Рудные образования обычно концентрируются в узких эндоконтактных и экзоконтактных зонах, окружающих небольшие интрузивные массивы, которые являются либо апикальными частями более крупных интрузивных тел, либо самостоятельными малыми интрузиями.

В Восточном Забайкалье большинство месторождений генетически связано с предверхнеюрским этапом магматизма, в Якутии формирование их относится к верхней юре.

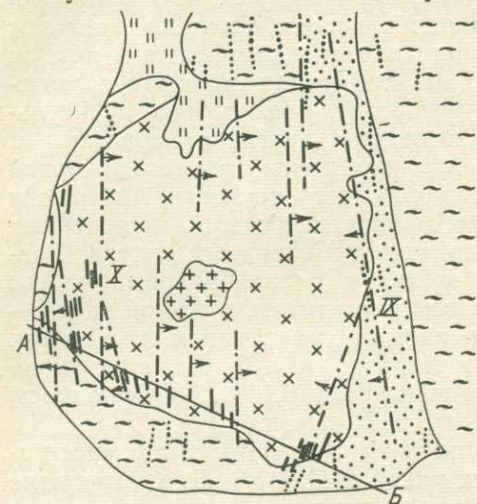
Большинство жильных месторождений касситерит-кварцевой формации Советского Союза и зарубежных стран характеризуется небольшими размерами и удельный вес их в мировых запасах и мировой добыче незначителен. Запасы олова отдельных месторождений обычно очень невелики. Глубина распространения оруденения колеблется в пределах 150—300 м, в редких случаях достигает 500 м. Содержание олова в рудах весьма широко варьирует, но в среднем не является высоким (0,4—0,6%). Однако возможность сортировки руд, легкой их обогащенности, хорошее извлечение олова (до 80—85%), высокое качество его концентратов, а также комплексный состав руд позволяют экономически рентабельно разрабатывать отдельные месторождения касситерит-кварцевой формации.

К касситерит-кварцевой формации относится большинство месторождений штокверковых оловянных руд. Они нередко характеризуются крупными масштабами минерализации, пригодны для отработки открытым способом или подземными высокопроизводительными системами, но сравнительно бедны касситеритом (0,1—0,3%). В связи с техническим прогрессом в добыче и обогащении руд штокверки, несомненно, станут больше вовлекаться в промышленное освоение, учитывая постепенное истощение запасов олова и ухудшение горнотехнических условий разработки других типов месторождений.

В Советском Союзе наиболее интересными представляются Пыркакайские штокверки, расположенные на Северо-Востоке страны, в пределах обширного поля развития осадочных отложений верхнего триаса, прорванных дайками ламирофиров.

По сравнению с жильными месторождениями касситерит-кварцевой формации менее распространены, но более интересны в практическом отношении месторождения хорошо обогащаемых (малосульфидных) оловянных руд, преимущественно касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формаций. Обычно они представлены протяженными трещинными жилами, минерализованными зонами дробления, штокверкообразными зонами сближенных прожилков, метасоматическими залежами. В отличие от касситерит-кварцевых руд эти месторождения характеризуются более значительными размерами (длина по простиранию — до нескольких тысяч метров, глубина — 400—800 м) и более высоким содержанием олова (1—3%).

Руды более мелкозернисты и извлечение олова из них составляет 65—85%. Запасы олова отдельных месторождений часто измеряются десятками тысяч тонн, но встречаются месторождения и с сотнями тысяч тонн металла. Попутно с оловом в незначительных количествах извлекаются свинец, цинк, медь, реже вольфрам, золото, серебро и другие металлы, но доля их в общей ценности руд незначительна. В рудах месторождений касситерит-силикатной формации силикаты железа — турмалин и хлорит — преобладают над кварцем.



Разрез по линии АБ



Рис. 44. Схема геологического строения Валькумейского рудного поля. По В. Г. Зорину.

1 — четвертичные отложения; 2 — ороговикованные песчаники; 3 — ороговикованные сланцы; 4 — лейкократовые граниты; 5 — гранитоиды верхнемелового возраста; 6 — догранитовые и послегранитовые дайки; 7 — рудные тела кварц-турмалинового состава; 8 — основные дизъюнктивные нарушения

Крупнейшими в мире месторождениями этого типа являются Корнуэллские в Великобритании. Они распространены на площади

протяженностью 150 км при ширине 30—40 км, сложенной палеозойскими сланцами, аргиллитами и эффузивными породами, прорванными шестью крупными штоками порфиroidных 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 порфиroidным гранитам и обычно концентрируется в участках развития даек и небольших штоков мелкозернистых гранитов и кварцевых порфиров. Рудные тела представлены жилами и минерализованными зонами дробления. Жилы подразделяются на высокотемпературные с касситеритом, вольфрамитом, арсенопиритом, халькопиритом и более низкотемпературные — с галенитом, сидеритом, стибнитом. Преобладающий жильный минерал рудных тел — кварц; присутствуют турмалин, флюорит, хлорит, пирит, гематит; встречаются арсениды никеля и кобальта, урановая сможка, молибденит, магнетит, шеелит, стибнит, станнин, карбонаты, барит и др. Размеры рудных тел варьируют в широких пределах. Протяженность отдельных жил достигает нескольких километров при мощности от 0,3—2 до 12 м (в среднем примерно 1,2 м). Содержание олова в рудах колеблется от 0,3—0,4 до 1,8%, редко больше. Коренные месторождения сопровождались оловоносными россыпями.

Корнуэллские месторождения эксплуатируются с древних времен и в основном уже выработаны. За все время эксплуатации здесь добыто около 2 млн. т олова, в том числе 750 тыс. т из россыпей. В настоящее время добыча олова производится в небольшом объеме (примерно 3 тыс. т в год). Попутно с оловом извлекаются в незначительном количестве уран, вольфрам, медь, сурьма и мышьяк. Общие оставшиеся запасы олова составляют 260 тыс. т, достоверные и вероятные — 130 тыс. т, при содержании металла в руде 0,85—1,5%.

Весьма крупный район размещения месторождения олова касситерит-сульфидного типа расположен в Боливии. Особенно выделяется месторождение Лалагуа, расположенное на горе Сальвадор высотой 3500—3900 м (рис. 45). Оруденение приурочено к жерловине вулкана, сложенной кварц-латитовым порфиром, прорывающим палеозойские

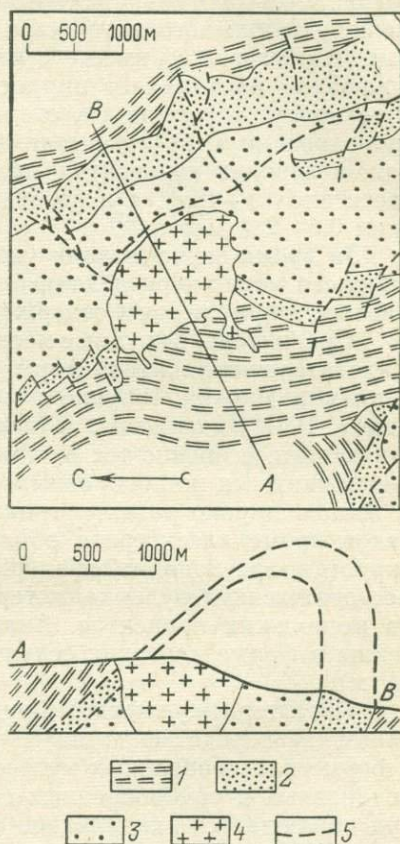


Рис. 45. Схема геологического строения месторождения Лалагуа (Боливия).

1 — сланцы; 2 — песчаники; 3 — граувакки; 4 — порфиры; 5 — тектонические нарушения

граувакки и песчаники. В порфирах интенсивно проявлены процессы замещения турмалином, серицитом и кварцем. Известны сотни жил длиной от нескольких десятков до 1000 м и более. Мощность их изменяется от нескольких сантиметров до 6—7 м. Встречаются участки штокверковых руд.

Выделяются несколько стадий минерализации. Наиболее ранняя стадия, представленная кварцем, висутином и обильным касситеритом, сменяется пирротин-франкеитовой стадией и несколько позднее — отложением 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, станнин, марказит и арсенопирит. Содержание олова по мере возрастания глубины разработок резко снижается. Так, в верхних горизонтах месторождения содержание олова в рудах достигало 12—15%, а в последнее время добывались руды с содержанием 0,5—2% металла.

За время эксплуатации уже добыто более 400 тыс. т олова, но оставшиеся запасы, разведанные до глубины 650 м, все еще составляют 130 тыс. т при среднем содержании олова в рудах 0,86%.

Сравнительно крупные месторождения касситерит-кварц-сульфидной и касситерит-силикатной формаций известны в пределах Юго-Восточной Азии и в Японии, широко распространены они в Китае и Советском Союзе. В Индонезии в прошлом удельный вес их по добыче был значителен, особенно тех из них, которые представлены межпластовыми выдержанными жилообразными залежами среди песчаников и сланцев. В жилах широко развиты гранат, амфибол и фаялит, из рудных минералов кроме касситерита обилён магнетит и постоянно присутствуют пирротин, арсенопирит, сфалерит и халькопирит. В разрабатываемых месторождениях руды характеризовались высоким содержанием олова, до нескольких процентов. Аналогичные по составу руды встречаются также в форме коротких секущих жил, иногда достаточно мощных (до 10 м).

Касситерит-сульфидные руды в Китае 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, не выходящие на дневную поверхность, а также дайки сиенитов и граносиенитов, около которых залегают лучшие руды. Оруденение в гранитах сопровождается турмалинизацией и грейзенизацией.

В Советском Союзе месторождения касситерит-силикатной и касситерит-сульфидной формаций широко распространены на Дальнем Востоке и Северо-Востоке, где формирование их происходило в нижнем и главным образом в верхнем мелу, а также в палеогене. Некоторые промышленные месторождения этого типа, генетически связанные с поздне-верхнепалеозойским магматизмом, разведаны в Средней Азии.

Практический интерес представляют месторождения касситерит-силикатной формации, отличающиеся более крупными масштабами оруденения и высоким содержанием олова в рудах. Преобладают турмалиновый и хлоритовый типы руд, включающие минеральные ассоциации нескольких фаз образования. Между ними и рудами касситерит-сульфидной формации существует ряд переходных разновидностей руд.

Наиболее перспективным представителем этого типа является Депутатское месторождение, приуроченное к экзоконтакту меловых гранитов, находящихся на глубине 600—800 м, с песчано-сланцевыми отложениями средней юры. Основное оруденение развито в форме минерализованных зон дробления мощностью до 10 м, штокверковыми зонами мощностью от 1 до 10 м, представленными сериями прожилков и маломощных (до 5—7 см) жил. По минеральному составу выделяются руды кварц-сульфидные с флюоритом, кварц-турмалиновые и кварц-карбонатные. Содержание олова в коренных рудах колеблется от 0,3 до 2,5%, в россыпях, связанных с ними — от 600 до 1400 г/м³.

Среди касситерит-сульфидных руд и реже среди касситерит-силикатных руд, богатых сульфидами, встречаются труднообогатимые разновидности, в которых касситерит проявляется в форме весьма тонкой вкрапленности (менее 0,1 мм). Переработка их требует сложных процессов обогащения, но и при этом извлечение олова в концентраты не превышает 65—70%. В Советском Союзе к ним относится Шерловогорское месторождение штокверковых руд, приуроченное к мощной зоне нарушений, проходящей вдоль контакта мезозойских кварцевых порфиров и их туфов с палеозойскими диоритовыми порфиритами. Оруденение проявлено в форме сети кварц-турмалиновых и кварц-сульфидных прожилков, а также тонкой вкрапленности касситерита во вмещающих эффузивах. Промышленная минерализация прослежена до глубины 300 м. Содержание олова колеблется от 0,02 до 0,22%, свинца и цинка — до 0,7—0,8% каждого.

Сравнительно широко в мире развиты также месторождения *касситерит-сульфидных руд*, которые отличаются *высокими содержаниями меди*, свинца и цинка, иногда определяющими их основную ценность. Месторождения часто имеют крупные запасы руд, требующих, однако, сложной схемы обогащения. Значительная часть олова в них связана не с касситеритом, а со станнином. К ним относятся многие месторождения Боливии, разрабатывавшиеся первоначально на серебро, которое только с глубиной сменилось оловом.

Руды этого типа известны в Японии, где они генетически связаны с небольшими интрузиями гранит-порфиров, гранодиоритов и монзонитов, а также с районами вулканической деятельности и залегают среди осадочных метаморфических пород палеозоя и мезозоя или в третичных риолитах. Касситерит обычно ассоциирует с вольфрамитом, в существенных количествах присутствуют сульфиды, особенно халькопирит, сфалерит и галенит, иногда серебросодержащий. В одном из наиболее крупных месторождений — Акенобе — руды содержали в среднем 1,9% олова, до 9% меди и 70 г/т серебра. Преобладает жильная форма рудных тел, причем отдельные жилы достигают длины по простиранию несколько километров при мощности от десятков сантиметров до 8 м. Встречаются также неправильной формы метасоматические залежи.

Сходное месторождение Пирквитес известно в Аргентине. Руды его отличаются весьма пестрым составом: содержат кварц, касситерит,

пирит, сфалерит, галенит, кераргирит, станнин, пираргирит, прустит, полибазит и марказит и требуют сложных дорогостоящих методов обогащения. Содержание олова варьирует в широких пределах, иногда достигает 16%.

В СССР в последние годы месторождения медно-оловянных руд открыты в Приморском и Хабаровском краях. Они представлены рудными залежами в терригенных породах среднего и верхнего мезозоя и часто пространственно приурочены к гранитоидам кислого состава. В верхних частях месторождений широко распространена минерализация меди, ассоциирующая с касситеритом, кварцем, хлоритом, местами турмалином. С глубиной медное оруденение затухает и нередко сменяется повышенным количеством хлорита, турмалина и касситерита.

Известные во многих странах оловянные *пегматиты*, как правило, характеризуются мелкими размерами и убогой неравномерно рассеянной минерализацией. Промышленный интерес они представляют обычно в тех случаях, когда вместе с касситеритом в заметных количествах присутствуют берилл, тантало-ниобаты, литиевые минералы. Крупнейшим в мире представителем этого типа оруденения является месторождение Манано—Китотоло в Зaire, представленное мощной зоной оловянных пегматитов протяженностью около 14 км (рис. 46). Длина отдельных лакколлитов достигает 5 км при ширине до 400 м. Минерализация пегматитов весьма сложная и помимо главных породообразующих минералов (калиевого полевого шпата, кварца, первичного альбита, сподумена, апатита) они содержат берилл, литиевые слюды, флюорит, касситерит, танталит, колумбит, торолит, лейлингит, арсенопирит, пирит, ильменит, циркон, рутил, отунит, окислы железа и марганца и хлорит. Касситерит равномерно рассеян в массе пегматита в виде мелких уплощенных зерен. Среднее содержание его составляет 0,2—0,25%. С поверхности пегматитовые тела сильно разрушены и превращены в рыхлую остаточную массу из латеритного каолинизированного материала и сыпучего песка. Глубина ее распространения в среднем составляет 20 м, местами достигает 80 м. Содержание в ней олова не превышает 0,1%, запасы его оцениваются в 13—15 тыс. т. Первоначально разведанные до глубины 120 м запасы олова составляли 140 тыс. т. Это только часть общих запасов месторождения, так как минерализация продолжается глубже горизонта разведочных работ. Сходные месторождения пегматитов разрабатывались в Руанде и Родезии. По возрасту они относятся к среднему протерозою. Более древним (абсолютный возраст 2100 млн. лет) считается месторождение Вуджина, расположенное в Австралии. В Советском Союзе оловоносные пегматиты выявлены в ряде восточных районов страны.

Редко встречаются оловоносные *скарны*, обычно представленные весьма сложными по форме и разнообразными по размерам метасоматическими рудными телами. Содержания олова, как и технологические свойства руд, весьма различны. Известны месторождения со средним содержанием олова свыше 1% и с хорошо обогатимыми рудами, но чаще развиты труднообогатимые руды с более низкими содержаниями. Иногда значительная часть олова присутствует в виде изоморфной примеси в скарновых минералах.

В Китае скарновые руды тесно ассоциируют с порфирированными гранитами, содержат бедную вкрапленность касситерита и состоят из граната (гроссуляра), диопсида, амфибола (тремолит), хлорита, эпидота, флюорита, местами магнетита, иногда волластонита, скаполита и каль-

цита (рис. 47). Вкрапленность касситерита сопровождается сульфидами, кроме того, скарны содержат шеелит, обычно сопровождающийся флюоритом. Руды образуют пластообразные метасоматические залежи, неправильные жилообразные и трубообразные тела. Около крупных залежей массивных руд наблюдается вкрапленное оруденение.

В М а л а й з и и развиты касситерит-сульфидные скарны преимущественно неправильной трубчатой формы. Из сульфидов в них присут-

Рис. 46. Оловянное месторождение Маноно—Китотоло (Заир). По Л. Ланду, Д. Карпову и Е. Клейсу.

1 — молодые формации; 2 — слюдяные сланцы; 3 — долериты; 4 — граниты; 5 — пегматиты

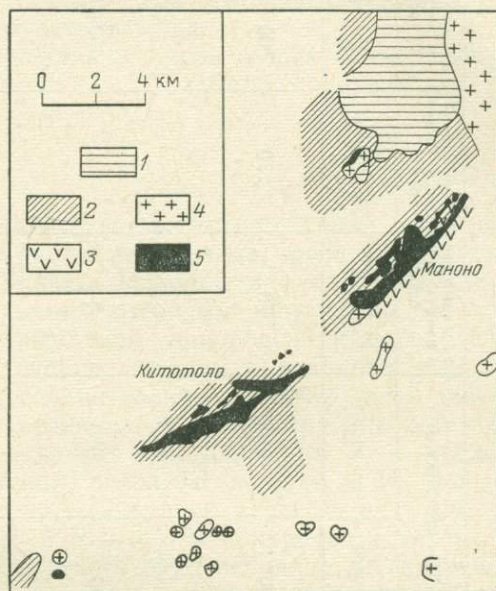
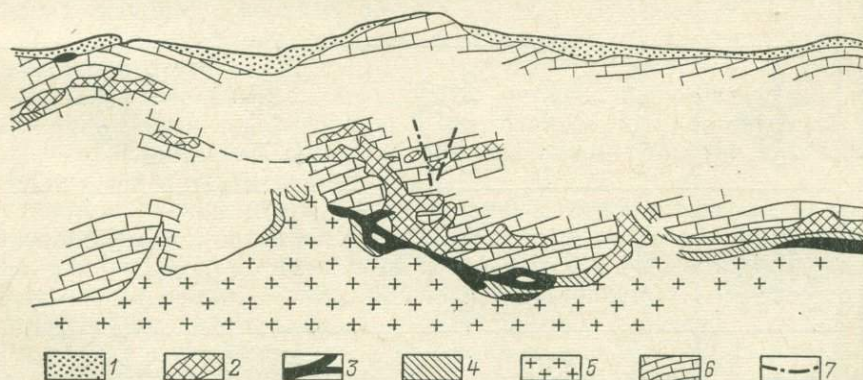


Рис. 47. Геологический разрез месторождения Лаочан (Китай). По М. П. Материнову.

1 — оловоносные четвертичные отложения; 2 — окисленные руды; 3 — сульфидные руды; 4 — скарны; 5 — граниты; 6 — гэцзюйские известняки; 7 — тектонические нарушения



ствуют главным образом арсенопирит, реже пирротин, халькопирит, борнит, галенит, сфалерит. Отмечается также тремолит, а местами своеобразный борат. Оловоносные скарны характеризуются слабым развитием сульфидов и по минеральному составу ближе к касситерит-кварцевой формации.

Крупные месторождения оловоносных скарнов встречаются крайне редко. Преобладают небольшие месторождения со сложной морфологией рудных залежей и низким содержанием касситерита при сложном извлечении его из руд. Промышленными концентрациями оловянных и

Основные параметры
морфогенетических типов промышленных месторождений олова

Таблица 10

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдельных месторождений, тыс. т олова	Содержание олова, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах		Годовая производительность горнообогатительного предприятия, тыс. т	
			открытой	подземной	в разведанных запасах	в добыче	руда	олово
Касситеритовые и вольфрамит-касситеритовые элювиальные, делювиальные, аллювиальные прибрежно-морские россыпи и коры выветривания	0,5—5	0,02—0,05	30	100	70	70	500—4000	0,2—1,2
Касситерит-кварцевые, касситерит-силикатные и касситерит-сульфидные прожилково-вкрапленные руды в форме штокверковых и штокверко-гнездовых массивов	30—150	0,15—1,0 редко до 4,0	300	550	+	+	400—1500	1,5—4,5
Касситерит-кварцевые, касситерит-силикатные и касситерит-сульфидные жилы, жильные и минерализованные зоны дробления	10—80	0,3—1,5 редко до 5,0	—	800	29	29	200—400	1,2—3,0
Касситерит-сульфидные и касситерит-силикатные пластобразные, линзообразные и морфологически сложные залежи скарных руд	5—50	0,3—1,0 редко до 5,0	—	300	+	+	Свед. нет	

Условные обозначения. + — доли %.

комплексных редкометалльно-флюорит-оловянных или оловянно-полиметаллических руд характеризуются оловоносные метасоматиты, наложенные иногда на скарны. Удельный вес месторождений скарновых руд в мировых разведанных запасах и добыче олова не превышает нескольких процентов.

Не представляют практического интереса месторождения *риолитовой формации* (древянистого олова), локализованные преимущественно в кайнозойских вулканических поясах. Они отличаются незначительными размерами и низкой обогатимостью руд.

Среди разведанных месторождений олова могут быть выделены четыре морфогенетических типа (табл. 10), составляющие основу оловянной промышленности.

РТУТЬ

Среди большого числа выявленных в мире месторождений ртути лишь некоторые из них располагают запасами металла, превышающими несколько десятков тысяч тонн. Запасы большинства месторождений исчисляются сотнями, реже первыми тысячами тонн ртути, но часто группа таких небольших месторождений приурочена к определенной зоне интенсивных тектонических нарушений, брекчированных и милонитизированных пород и образует сравнительно крупный рудный район.

Наиболее широко месторождения ртути распространены в тектонически активных поясах Земли — вокруг Тихого океана и в пределах Средиземноморско-Среднеазиатского пояса. По данным А. Н. Мойсеева (Moiseyev), только в 20% всех месторождений ртути возраст вмещающих пород древнее мезозойского и только 1% приурочен к докембрийским породам. Возраст самого ртутного оруденения не всегда удается установить достоверно. Предположительно, 60% месторождений образовались, начиная с верхнего мела.

В. П. Федорчук выделяет две генетические группы эндогенных месторождений ртути:

— телетермальный, включающий четыре промышленных типа: кварц-диккитовый, джаспероидный, листовитовый и карбонатный;

— вулканогенный с двумя промышленными типами: карбонатно-аргиллитовый и опалитовый.

Месторождения ртути всех указанных типов отличаются крайне разнообразными и сложными формами рудных тел, нередко даже в пределах единого рудного поля. Они проявляются в форме пластообразных (иногда согласных), плащеобразных, седловидных, жилообразных (часто сложно ветвящихся) и столбообразных залежей, причудливой формы гнезд и штокверковых и брекчиевых зон. К тому же в большинстве случаев для них характерно весьма неравномерное распределение рудной минерализации.

К *кварц-диккитовому* типу относится месторождение Альмаден (рис. 48) в Испании. Район месторождения сложен интенсивно смятыми в крутые и сложные складки, разорванными многочисленными нарушениями отложениями силура и девона — сланцами, песчаниками, кварцитами, известняками и диабазовыми туфами. Местами они прорваны дайками сильно измененных диабазов и кварцевых порфиров. Оруденение приурочено к трем крутопадающим пластам кварцитов нижнего силура, разделенным пластинами углистых сланцев мощностью около 50 м. По простиранию рудные пласты прослеживаются на расстояние от

180 до 350 м, промышленное оруденение в них установлено на глубине более 700 м. На востоке пласты 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 прослоек и значительных скоплений киновари, рас-

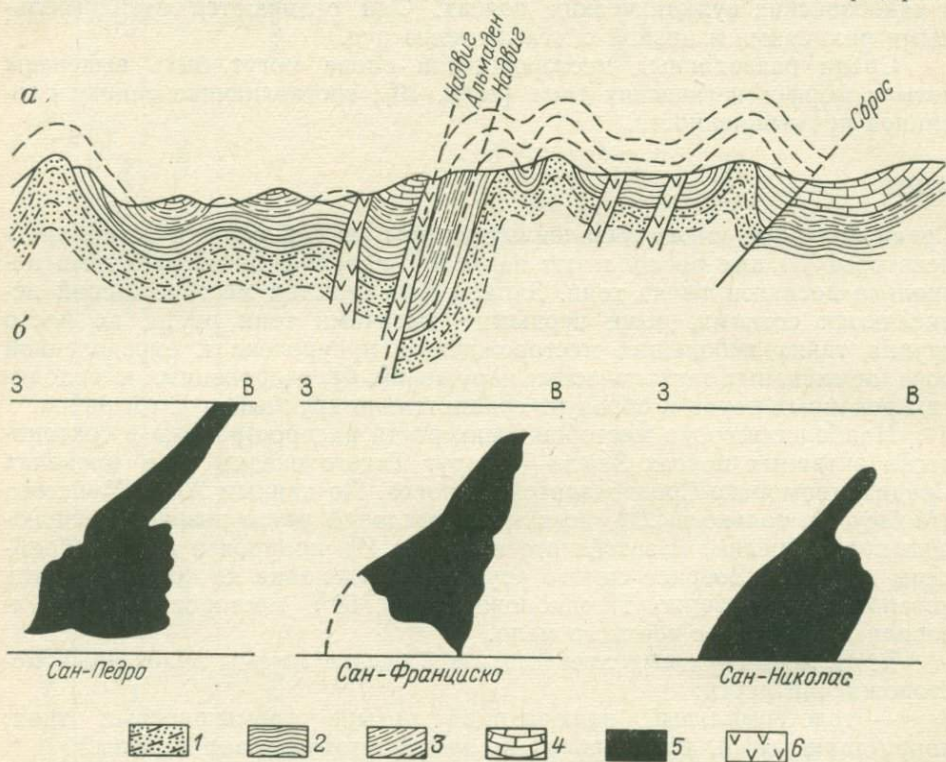


Рис. 48. Геологические разрезы месторождения Альмаден (Испания): а — разрез района месторождения; б — разрезы отдельных рудных тел. По Э. Лиллею.

1 — песчаники и кварциты; 2 — глинистые сланцы; 3 — известковистые сланцы; 4 — известняки; 5 — богатая руда; 6 — изверженные породы

положенных преимущественно параллельно плоскостям напластования в окварцованных песчаниках. Мощность пласта колеблется от 7 до 14 м, содержание ртути в нем достигает иногда 15—20%. В двух других рудных пластах киноварь выполняет пустоты трещин и промежутки между зернами кварца и проявляется главным образом в форме вкрапленности и прожилков. Мощность этих пластов от 7 до 12 м, содержание ртути не превышает 2—2,5%. Среднее содержание ртути в рудах, добытых на месторождении с 1900 г. по 1932 г., составило 5,5%. Кроме кварца руды содержат в небольшом количестве кальцит, доломит, барит, цеолит из группы натролита и битумы. Из рудных минералов постоянно присутствует пирит; встречаются в качестве незначительной примеси метациннабарит и самородная ртуть. Начальные запасы ртути месторождения Альмаден (с учетом добытой ртути, начиная с 1499 г.), вероятно, превышают 400 тыс. т. Достоверные и веро-

ятные запасы ртути на начало 1974 г. оцениваются в 135 тыс. т при среднем ее содержании 1—2%. Годовая суммарная производительность рудников превышает 3 тыс. т ртути, а добыча ее в последнее время не превышает 2 тыс. т в год.

По мнению одних исследователей, месторождение генетически связано с герцинскими гранитоидами, широко развитыми в смежных районах. Другие считают, что оруденение связано с процессами регионального силурийского магматизма. Оба эти предположения вызывают сомнения главным образом потому, что остальные ртутные месторождения Средиземноморской зоны относятся к более поздним эпохам рудообразования.

К такому же типу относится Никитовское месторождение в СССР, приуроченное к песчаникам среднего карбона, залегающим в осевой части Главной Донецкой антиклинали. Здесь проявились две формы оруденения — жильная и пластовая. Жилы приурочены главным образом к поперечным разломам. Наиболее распространенный пластовый тип оруденения связан с зонами дробления, в пределах которых рудные залежи имеют пласто- и линзообразную формы; киноварь в них распределена в виде гнезд, прожилков и вкрапленности. Обычно киноварь ассоциирует со стибнитом, антимонитом и накритом. Реже встречается кварц, карбонаты, пирит, халькопирит и арсенопирит. Оруденение контролируется структурно-литологическими факторами и приурочено к участкам сопряжений продольных, поперечных и диагональных нарушений в песчаниках, либо в окремненных и сильно раздробленных сланцах.

К кварц-диккитовому типу относится Западно-Палянское месторождение на Чукотке. Район его сложен терригенно-осадочными отложениями верхнего триаса и эффузивно-терригенными породами нижнего мела. Ртутное штокообразное оруденение локализуется в узких пересечениях 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 этому типу ртутной минерализации относятся также многочисленные месторождения, выявленные 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. Рудные тела прослежены на протяжении 200 м при мощности до 6—9 м.

Джаспероидный тип ртутного оруденения особенно широко распространен в СССР в Средней Азии, где по масштабу промышленной минерализации особенно выделяется Хайдарканское месторождение.

Рудовмещающими породами являются кальцитизированные и окварцованные известняки (джаспероиды), сланцы и терригенные образования. Основными рудовыводящими каналами считаются зоны диагональных нарушений, а рудо локализирующими структурами — системы мелких трещин, образованных при формировании как складчатых структур, так и разрывных нарушений. Главными структурами для рудоотложения являются 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-мышьяковые и ртутно-сурьмяно-флюоритовые типы руд. Особенностью ряда месторождений является зональность оруденения.

Сурьмяно-ртутные тела, как правило, локализуются вблизи рудопроводящих каналов; сложены они роговиково-джаспероидно-кварцевыми, джаспероидно-кварц-флюоритовыми и роговиково-сланцево-кварцевыми брекчиями с антимонитом, флюоритом и киноварью. Ртутные рудные тела располагаются не ближе 40—50 м от рудопроводящих ка-

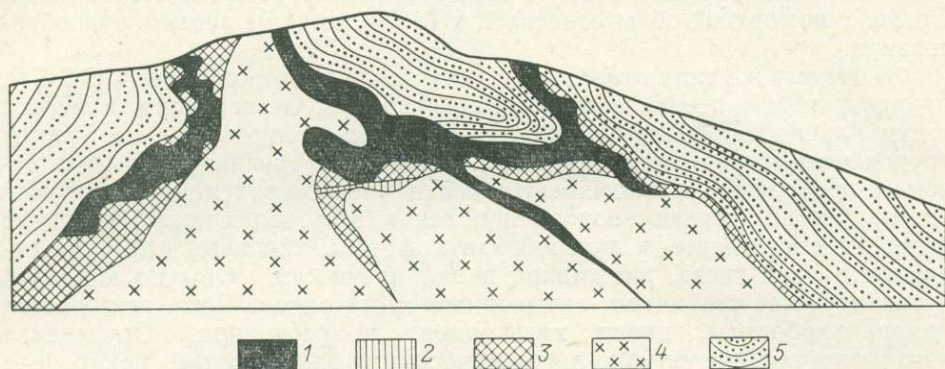


Рис. 49. Схематический разрез месторождения Нью-Альмаден (США).

1 — ртутная руда; 2 — глина трения; 3 — брекчия; 4 — серпентиниты; 5 — песчаники и сланцы

налов, отдаляясь часто на многие сотни метров от них. Сложены они обычно джаспероидно-кварцевыми, известняково-кальцитовыми, реже сланцево-кальцитовыми и роговиково-кальцитовыми брекчиями с киноварью. Характер оруденения неравномерный. В рудных залежах пластобразного типа рудные минералы встречаются в виде гнезд, прожилков и мелкой вкрапленности. Богатые залежи развиты преимущественно в ядрах сжатых небольших антиклинальных структур. Промышленное ртутное оруденение встречается также в перекрывающих сланцах и в подстилающих плотных известняках. Однако размеры этих рудных участков меньше, чем в джаспероидах. В сланцах ртутное оруденение иногда концентрируется в виде обособленных гнезд.

Главными рудными минералами являются киноварь, антимонит, реальгар и аурипигмент. Кроме того, в незначительном количестве руды содержат медь, свинец, цинк, олово, серебро, селен и таллий. Наиболее вероятный возраст ртутных и сурьмяных залежей — раннепермский, местами предпермский. Размещение их контролируется крупными региональными разломами. Оруденение прослеживается до глубины 1200 м от поверхности.

Месторождения *лиственитового типа* представлены преимущественно столбообразными залежами, приуроченными к экзоконтактовым зонам небольших массивов серпентинизированных гипербазитов, развитых вдоль глубинных разломов. Классическим примером этого типа считается месторождение Нью-Альмаден (рис. 49) в США (штат Калифорния). Оно 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 квар-

цем, кальцитом и доломитом, реже халцедоном, опалом и битумами. Висячем боку рудных залежей, особенно пологопадающих, часто развита тектоническая глинка, вблизи которой, как правило, руды отличаются наиболее высоким содержанием киновари, превышающим иногда 10%. Кроме киновари из рудных минералов встречается пирит, реже марказит. Среднее содержание ртути в добытых рудах составляло около 1%, при колебаниях от 0,2 до 3—5%. Месторождение разрабатывалось с перерывами с 1824 по 1945 г., и за это время здесь было добыто 39,5 тыс. т ртути. Очистные работы достигли глубины 820 м от поверхности и были прекращены из-за истощения запасов богатых руд.

Сравнительно небольшие месторождения ртути листовитового типа развиты во многих рудных провинциях Советского Союза — в Горном Алтае, Средней Азии, Закавказье и Восточном Казахстане. Оруденение, проявленное в форме крутопадающих столбов, локализуется в зонах листовитизации, часто вблизи выходов ультрабазитовых пород.

Месторождения *карбонатного типа*, представленные согласными залежами в доломитах или различной формы гнездообразными, жилообразными и штокверковыми залежами в известняках, широко распространены в Советском Союзе. Масштабы их обычно незначительны, но отдельные месторождения отличаются высоким качеством руд. Среди них выделяются следующие рудные формации: кальцит-киноварная, доломит-киноварная, барит-киноварная и кальцит-барит-киноварная с полиметаллами.

К этому типу относится большая часть месторождений К и т а я. Они приурочены к карбонатным породам кембрия, реже к отложениям ордовика, пермо-карбона и триаса в антиклинальных частях крупных пликативных структур и образуют ряд протяженных рудных зон, прослеженных на площади 300×500 км. Месторождения представляют собой гнезда, жилы, штокверки и пластовые залежи в брекчированных известняках и сланцах, а также заполнения пустот или импреньяции в известняках. Кроме киновари руды содержат самородную ртуть, антимонит, реже метациннабарит, реальгар, аурипигмент, пирит, галенит. Содержание ртути в рудах обычно от 0,1 до 0,3%, на отдельных участках нередко до 3%.

За рубежом большое промышленное значение имеют месторождения, генетически связанные с мезо-кайнозойским вулканизмом, особенно относящиеся к *карбонатно-аргиллитовому* промышленному типу. Они приурочены к толщам кислых эффузивов, туфов и терригенных отложений в форме межформационных залежей и зон дроблений или к сложно чередующимся пачкам карбонатных и терригенных пород в форме жилообразных и линзообразных залежей массивных киноварных руд под глинистым экранующим горизонтом.

Наиболее характерным представителем этого типа является группа ртутных месторождений И т а л и и, сосредоточенная в районе Тосканы на восточном склоне горы Монте Амтата. Общее протяжение 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 Амтата.

Ртутная минерализация приурочена к зонам разломов, вдоль контактов известняков мела и верхнего лейаса с покрывающими и подстилающими их сланцами, концентрируется под покровами трахитов,

а также развита 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 плащеобразной формы наиболее крупного месторождения Аббадиа-сан-Сальваторе залегает под покровом трахита и представляет собой брекчированную зону, сцементированную глинистым материалом.

Ртутная минерализация обусловлена поствулканическими гидротермальными процессами, продолжающимися до настоящего времени. Оруденение в районе Монте Амиата прослеживается до глубины 200 м. Кроме киновари руды содержат антимонит, реальгар, аурипигмент, самородную серу и флюорит. С учетом добытой ртути за многолетнюю эксплуатацию месторождений Монте Амиата начальные их запасы, по видимому, могут быть оценены в 200 тыс. т металла при среднем его содержании около 1,5%. Оставшиеся запасы ртути оцениваются в 70 тыс. т при среднем содержании 0,5%. Суммарная годовая производительность действующих рудников достигает 2000 т.

К рассматриваемому типу относятся также месторождения Хуанкавелика в Южной Америке и Идрия в Европе, а также ряд месторождений Алжира.

Месторождение Хуанкавелика (рис. 50) в Перу, разрабатывавшееся с 1566 г. и давшее до 1839 г. более 50 тыс. т ртути, 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 служили экраном для рудоносных растворов. Наиболее интенсивно оруденение проявлено в сильно раздробленных и трещиноватых песчаниках под покровом сланцев и представлено импренящей и выполнениями мелких трещинок, образующих пластообразные рудные залежи. В известняках преобладают гнездообразные залежи замещения, часто приуроченные к карстовым пустотам. Оруденение наблюдается также в известняковых конгломератах, залегающих над сланцами. В них киноварь находится в виде вкрапленности и прожилков в цементе. Кроме киновари в рудах присутствуют пирит, арсенопирит, реальгар, кальцит, кварц, барит и битумы. Содержание ртути в первый период эксплуатации достигало 5%, позднее оно резко снизилось и эксплуатация месторождения была прекращена. На глубину месторождение отработано до 450 м. Оставшиеся запасы месторождения исчисляются в 900 тыс. т руды, содержащей 0,12—0,38% ртути.

Район месторождения Идрия (рис. 51) в Югославии сложен системой опрокинутых антиклинальных складок, нарушенных многочисленными надвигами, в результате которых отложения триаса налегают на меловые известняки и перекрыты сланцами карбона, а сами меловые известняки подстилаются флишевыми осадками эоцена. Наиболее богатые руды приурочены к триасовым доломитам и их брекчиям, перекрытым в результате интенсивных тектонических нарушений сланцами карбона, которые, по мнению исследователей, служили экраном для минерализующих растворов. Менее интенсивная ртутная минерали-

зация 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. Главная рудная зона прослеживается по простиранию на 1400 м; оруденение распространяется до глубины 350 м. Месторождение разрабатывается непре-

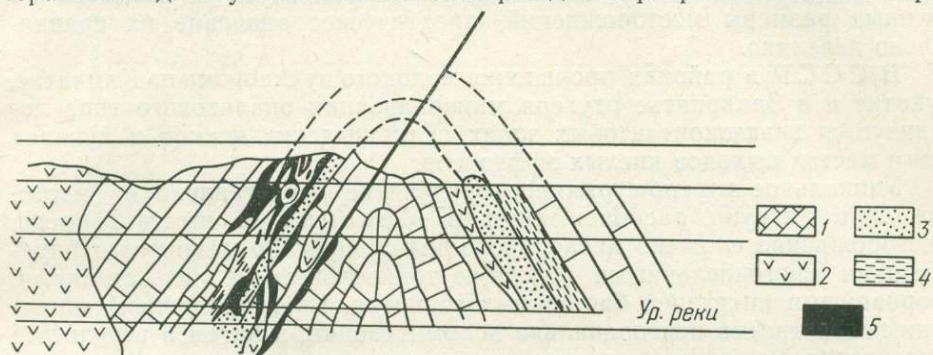


Рис. 50. Разрез ртутного месторождения Хуанкавелика (Перу).

1 — известняки; 2 — изверженные породы; 3 — песчаники; 4 — сланцы; 5 — рудные тела

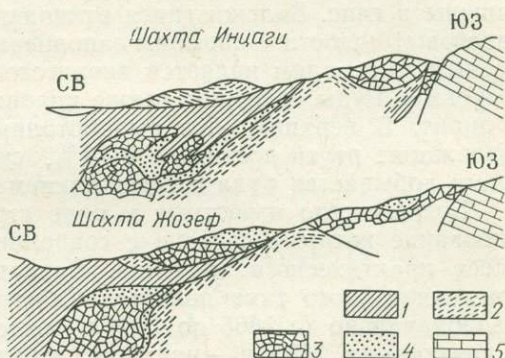


Рис. 51. Геологический разрез месторождения Идриа (Югославия). По Д. Джонсону.

1 — средний карбон; 2 — нижний триас; 3 — средний триас; 4 — верхний триас; 5 — мел

ривно около 500 лет. В прошлом содержание ртути в добытых рудах достигало 6—7%, в последнее время оно не превышает 0,8%.

Основные месторождения Алжира приурочены к протяженному разлому, проходящему вдоль склона Нумидийского хребта. Оруденение локализовано в интенсивно тектонически нарушенных зонах среди эоценовых песчаников, мергелей, известняков и известковых конгломератов. На месторождении Рас-эль-Ма пластовая залежь мощностью 6,4 м развита на площади до 500 м². Основными рудными минералами являются 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 от 0,05 до 1,0%, в жильных — от 1 до 20%.

Менее интересным в практическом отношении представляется субвулканогенный *опалитовый тип* месторождений, особенно широко

развитый в США (штат Орегон). Месторождения приурочены к зонам силификации туфогенных и легкопроницаемых осадочных пород. Силификация пород предшествовала ртутной минерализации, и киноварь развивается в брекчиях и трещинах опалитизированных пород. Самым крупным месторождением этого типа является Опалит, представленное залежью опалитизированных третичных туфов, в которых киноварь и терлингуаит образуют неравномерную вкрапленность. Опалитовые руды отличаются низким содержанием ртути и, несмотря на крупные размеры месторождений, практическое значение их сравнительно невелико.

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.

Уникальное ртутно-сурьмяное оруденение представлено на месторождении Уитцуко, расположенном в Мексике, в штате Герреро. Месторождение сложено дислоцированными, брекчированными и нарушенными многочисленными сбросами тонкослоистыми известняками, прорванными интрузией биотитовых гранитов. Брекчированные известняки подвергались первоначально доломитизации, а затем в результате воздействия сернокислых растворов были замещены ангидритом, превращены в гипс. Залежи гипса отличаются сильной закарстованностью, карстовые полости и карманы заполнены глинистой брекчией. Основным рудным минералом является ливингстонит-комплексный сульфид ртути и сурьмы. Руды содержат также киноварь, метациннабарит, антимонит и пирит. В верхних, уже выработанных, горизонтах месторождения содержание ртути достигало 3—4%, сурьмы — 16—17%. В настоящее время добывается руда с содержанием 0,3% ртути и 1,25% сурьмы.

Большинство известных в ряде стран месторождений ртути, формирование которых связано с современными *термальными водами*, не имеет практического значения. Единственным промышленным месторождением этого типа является Салфер-Бэнк в США (Калифорния). Первоначально (с 1865 по 1868 г.) здесь добывалась самородная сера, а позднее — с 1873 г. — началась добыча ртути, осаждаемой 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, изредка опал.

До 1957 г. на месторождении добыто 4465 т ртути, 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 импреньированными 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, реже первыми сотнями тонн.

Ртуть в виде незначительной примеси часто встречается в *медно-полиметаллических, золото-сульфидных, вольфрамо-оловянных рудах*,

Основные параметры
морфогенетических типов разрабатываемых месторождений ртути

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдельных месторождений, тыс. т ртути	Содержание ртути, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах, %		Годовая производительность горнообогатительного предприятия	
			открытой	подземной	в разведанных запасах	в добыче	руда, тыс. т	ртуть, т
Телетермальные кварц-диккитовые, джаспероидные, карбонатные и лиственитовые, представленные:								
а) пластовыми, пластообразными, плащеобразными, межформационными штокверковыми и трубчатыми залежами прожилково-вкрапленных ртутных, реже сурьмяно-ртутных и ртутно-сурьмяных руд	5—250	0,5—2,0	150	800	69	52	20—130	100—2000
б) жилами и столбообразными залежами, сложенными зонами дробления и гнездами прожилково-вкрапленных собственно ртутных руд	0,5—20	0,2—0,5	50	300	11	12	25—80	50—400
Вулканогенные карбонатно-аргиллитовые и опалитовые, представленные плаще- и линзообразными залежами и сложными зонами дробления прожилково-вкрапленных руд	2—70	0,2—1,5	100	600	20	36	50—100	100—2000

откуда она может попутно извлекаться. В СССР в Восточном Забайкалье киноварь в заметных количествах иногда присутствует в рудах вольфрамовых месторождений. Судя по взаимоотношению с вольфрамитом, большая часть киновари образовалась в завершающую стадию рудного процесса, весьма часто киноварь располагается между кристаллами вольфрамита или окаймляет их. В ряде районов страны известны месторождения сурьмяно-ртутно-золотых и ртутно-мышьяковых руд, но в связи с небольшими размерами они промышленного значения не имеют.

Практически интересные концентрации ртути установлены в рудах вольфрамового месторождения Гюмюслер в Турции, которые наряду с шеелитом содержат антимонит и киноварь. Запасы одной кварцевой жилы мощностью 1 м до глубины 100 м оценены в 150 тыс. т руды, содержат 3,5—4,5% трехоксида вольфрама, 3,6—4,7% сурьмы и 0,16—0,20% (240—300 т) ртути.

Среди разведанных в мире месторождений ртути могут быть выделены три морфогенетических типа (табл. 11), составляющие основу ртутной промышленности.

СУРЬМА

Большинство промышленных месторождений сурьмы образовалось в мезо-кайнозойское время и заключает около 90% мировых запасов этого металла. Как и месторождения ртути, месторождения сурьмы относятся к низкотемпературным гидротермальным образованиям и характеризуются отчетливыми чертами близповерхностного формирования, приуроченностью к зонам интенсивных тектонических нарушений, брекчированных и милонитизированных пород, а также отсутствием видимой связи с магматическими образованиями.

В отличие от ртутных, промышленные месторождения сурьмы характеризуются более высоким содержанием металла и более крупными масштабами оруденения. Преобладают месторождения с запасами сурьмы, измеряемыми первыми десятками тысяч тонн. Иногда ряд таких месторождений локализуется в пределах единой геологической структуры, образуя рудный район со сравнительно значительными запасами сурьмы.

С предверхнемеловой фазой мезозойского магматизма генетически связывается формирование месторождений сурьмы Китая, широко распространенных в юго-западных районах страны — в провинции Хунань, Гуйчжоу, Гуанси, Юньнань, Гуандун и Хубэй, где ряд параллельных рудных поясов, контролируемых крупными разломами и зонами дробления, протягивается на сотни километров.

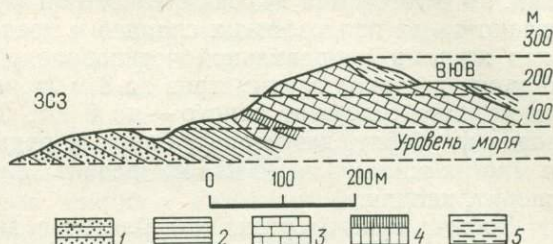
Наиболее значительны сурьмяные месторождения хребта Си-Гуань-Шань (провинция Хунань), где расположено одноименное крупнейшее в мире месторождение сурьмы (рис. 52). Хребет сложен верхнедевонскими песчаниками, кварцитами, сланцами и известняками, интенсивно смятыми в складки и разорванными сбросами. Рудные залежи приурочены преимущественно к нижнему пласту кварцитов, перекрытому малопроницаемыми сланцами и выведенному на поверхность сбросами или обнажающемуся 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 максимально проявились

дизъюнктивные нарушения и обломки пород сцементированы сплошным антимонитом.

Кроме кварца и антимонита руды содержат в качестве незначительной примеси кальцит, пирит, иногда киноварь. Оруденение проявлено в форме сближенных гнезд, линз и жил антимонита средней мощностью 0,5—0,6 м, а также в виде густой сети прожилков. Длина рудной зоны составляет 1,6 км. Содержание сурьмы в рудах широко

Рис. 52. Геологический разрез хребта Си-Гуань-Шань (Китай).

1 — кварциты с сурьмяной рудой;
2 — сланцы и сланцевые известняки;
3 — массивные известняки (силур-карбон); 4 — залежь железной руды; 5 — угленосная свита



варьирует. В среднем оно составляет примерно 6% (ручной сортировкой она доводится до 50—55%), но нередки участки, в которых содержание металла достигает 20%. Запасы сурьмы месторождения оценивались в 1 млн. т.

Аналогичные по характеру оруденения месторождения сурьмы, приуроченные к окремнелым известнякам, залегающим под метаморфическими сланцами, распространены в провинции Гуйчжоу. В провинции Юньнань сурьмяные руды залегают среди известняков, в Квантуне — в песчаниках.

Месторождения сурьмы эксплуатируются с древних времен, и Китай издавна занимал 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 3 раза более суммарных запасов сурьмы в капиталистических и развивающихся странах в настоящее время.

Предположительно к мезозою относится образование месторождений Южно-Африканской Республики, которая после второй мировой войны стала одним из главных поставщиков этого металла среди капиталистических и развивающихся стран. Основные месторождения расположены в горном хребте Мурчисон, в северо-восточной части Трансвааля. Оруденение приурочено к контакту хлоритовых сланцев и кварцитов с карбонатизированными сланцами и выражено чрезвычайно разнообразными кварцевыми жилами, длина которых достигает 100—150 м при мощности до 4—6 м. Кроме антимонита, киновари и золота, руды содержат также в заметных количествах тетраэдрит (теннантит), пирит, коринит и самородную ртуть. Золото образует графические прорастания с минералом типа гвадалнацарита. Широко развиты продукты окисления антимонита и различные карбонаты.

Месторождения первоначально разрабатывались на золото с сопутным извлечением сурьмы, а в последние годы сурьма стала основным объектом добычи. Годовая мощность рудников составляет 16 тыс. т сурьмы в концентрате. Содержание ее в разрабатываемых рудах составляет в среднем 2—3%, но иногда оно увеличивается до 10% и даже более. Содержание ртути в руде достигает 0,3%.

Большинство исследователей склонны считать месторождения мезозойскими и связывать с разломами, окаймляющими депрессии,

в которых накапливались юрские отложения системы карру. Согласно другой трактовке месторождения связаны с кембрийскими тектоническими движениями.

Более широко распространены кайнозойские месторождения сурьмяных руд. Наиболее крупные из них сосредоточены в Боливии, Мексике, США, Турции, Японии, Алжире, Марокко, Тунисе и Югославии.

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 киноварь. Во многих жилах вместо кварца развит халцедон, встречаются кальцит, анкерит, каолин.

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%. Годовая мощность рудников достигает 15 тыс. т сурьмы в концентрате.

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 в отвалах накопились большие запасы сурьмяных руд с содержанием металла от 5 до 10%.

В США крупным источником сурьмы является золото-сурьмяные месторождения штата Айдахо, приуроченные к зонам нарушения в крупном батолите гранитоидов и генетически связанные с третичными интрузиями кварц-монцитов. Главная жила наиболее крупного месторождения Баббит 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.

В Мексике известно около 60 месторождений, на большей части которых развиты чисто сурьмяные руды. Форма рудных залежей весьма разнообразна. Широко развиты пластообразные 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, сепармонтит, 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%.

Основные месторождения Турции расположены в Сивасском районе и в Западной Анатолии, где они представлены кварц-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%. Общие их запасы сурьмы достигают 100 тыс. т.

Сурьмяные месторождения Северной Африки 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, сенармонитом и валентинитом.

Значительными масштабами отличаются месторождения сурьмы Костайник-Крупани в Югославии. 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%.

Провинция широкого развития сурьмяных и золото-сурьмяных руд известна в СССР в Восточной Якутии. По данным Ю. В. Аркинова и В. А. Биланенко, здесь выделяются два рудных пояса: Яно-Индибирский и Уяндино-Селенняхский. В пределах первого месторождения локализованы в средне- и верхнетриасовых отложениях, а второго — в нижне- и среднепалеозойских отложениях. В обоих поясах оруденение контролируется зонами глубинных разломов и проявлено в форме протяженных минерализованных зон дробления мощностью от 1 до 20 м, а также жильно-штокверковых образований, приуроченных к системам трещин, опояривающих зоны крупных разломов. Руды отличаются высоким качеством. Содержание сурьмы в разведанной жиле Сарылахского месторождения колеблется от 4—5 до 62%.

Месторождения сурьмяных руд, генетически связанные с верхнепалеозойским магматизмом, распространены в Средней Азии. Размещение их контролируется крупными региональными разломами. Оруденение связано с зонами дробления, особенно на контактах рудовмещающих известняковых толщ среднего карбона с надвинутыми на них экраняющими сланцево-песчаниковыми толщами силура и девона. Рудовмещающими породами служат кальцитизированные и окварцованные известняки (джаспероиды), сланцы и терригенные образования. Основными рудовыводящими каналами считаются зоны диагональных нарушений, а рудо локализирующими структурами — системы мелких трещин, образованных как при формировании складчатых структур, так и при разрывных нарушениях. Наиболее благоприятными для рудоотложения структурами являются куполовидные брахиантиклинальные вздутия в антиклинальных складках. Повсеместно проявляется тесная ассоциация сурьмы с ртутью.

В пределах Джижикрутского месторождения ртутно-сурьмяная минерализация проявлена в трех горизонтах. Первый (основной) рудный горизонт представлен кремнисто-карбонатной брекчией, залегающей в контакте пород силура и нижнего карбона, второй приурочен к кремнистым сланцам нижнего карбона, промышленное оруденение в нем не установлено, и третий — к конгломератам и песчаникам нижнего карбона. Сурьмяное оруденение представлено в виде гнезд, прожилков

Основные параметры
морфогенетических типов разрабатываемых месторождений сурьмы

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдельных месторождений, тыс. т сурьмы	Содержание сурьмы, %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений в капиталистических и развивающихся странах, %		Головая производительность горнообогатительного предприятия, тыс. т сурьмы
			открытой	подземной	в разведанных запасах	в добыче	
Телетермальные плащеобразные, пластообразные и штокообразные межформационные залежи прожилково-вкрапленных, реже массивных сурьмяных и ртутно-сурьмяных руд, контролируемые структурами экранирования в толщах карбонатных и сланцевых пород	10—1000	2—3 до 15	200	700	18	9	2,0—6,0
Телетермальные жилы, жиллообразные тела и линейные зоны дробления, представленные массивными кварц-антимонитовыми рудами, нередко с промышленным содержанием золота	20—300	2—5 до 30	150	500	72	81	1,5—5,0

и радиальнолучистых сростков антимонита, неравномерно распределенных в общей массе руды. Помимо антимонита встречаются кермезит и другие окисленные минералы сурьмы, в количестве не более 5—16% от общего содержания сурьмяных минералов. Ртутное оруденение, представленное тонкой вкрапленностью и корочками киновари, распределяется в рудоносном горизонте еще более неравномерно.

Кроме выше охарактеризованных месторождений сурьмяных и золото-сурьмяных руд, обеспечивающих до 90% мирового производства металла, сурьма попутно извлекается из комплексных руд (ртутно-сурьмяных, свинцово-сурьмяных, сурьмяно-вольфрамовых, сурьмяно-никелевых). Примерно 10% мировой продукции сурьмы в качестве побочного продукта (в основном в виде сурьмянистого свинца) получается при выплавке свинца из полиметаллических руд Канады, Мексики, Перу, США и Австралии.

Минимальное промышленное содержание сурьмы в разрабатываемых собственно сурьмяных месторождениях составляет 1,2—1,5%. Комплексные руды разрабатываются и при более низких содержаниях сурьмы. Минимальное промышленное содержание сурьмы в рудах эксплуатируемых месторождений в СССР составляет 2,5—5%.

Среди разведанных в мире месторождений сурьмы могут быть выделены два морфогенетических типа (табл. 12), составляющие основу сурьмяной промышленности.

ФОСФАТНОЕ СЫРЬЕ

Промышленные месторождения фосфатного сырья представлены двумя типами руд — фосфоритами и апатитами. Апатит является весьма широко распространенным минералом докембрийских пород, однако редко образует промышленные концентрации. В качестве попутного компонента он извлекается из архейских флогопитсодержащих диопсидовых пород в Канаде и протерозойских магнетитовых руд в Швеции. В СССР кварц-диопсидовые апатитоносные породы архейского возраста развиты в южной части Байкальской складчатой области, но содержание в них апатита редко превышает 4%.

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 Китае, где они приурочены к нижнепротерозойским, главным образом синийским, отложениям, а также недавно обнаружены в Индии вблизи г. Удайпур (штат Раджастан). Фосфориты приурочены здесь к докембрийской формации Аравалли, сложенной доломитами, строматолитовыми известняками и кремнистыми сланцами.

Более крупные ресурсы фосфоритов заключены в нижнепалеозойских месторождениях. Формирование их началось в кембрийское время в геосинклинальных областях и краевых прогибах и привело к образованию Каратауского бассейна в Казахстане, Хубсугульского в Монголии, Джорджина в Австралии, а также месторождений провинции Юньнань и других в Китае. В ордовике образовались месторождения фосфоритов Теннесси, Арканзаса и Кентукки в США, а также ракушечных фосфоритов на территориях Русской (месторождения Прибал-

тики и Ленинградской области) и Сибирской (район Подкаменной Тунгуски) платформ.

К пермо-карбонтовой многофазной интрузии щелочных пород приурочены известные месторождения апатит-нефелиновых руд центральной части Кольского полуострова. Другим крупнейшим в мире источником фосфатного сырья является формация фосфорита (пермь), развитая в предгорьях Скалистых гор в США. Известные в Советском Союзе и в ряде других стран верхнепалеозойские месторождения фосфоритов обычно отличаются небольшими размерами и практическое значение их невелико.

Сравнительно широко в ряде стран Европы и в пределах Русской платформы распространены мезозойские месторождения фосфоритов. Большинство месторождений приурочено к верхнемеловым отложениям, представленным типичными морскими осадками, формирование которых происходило в платформенных условиях. За последние годы большое практическое значение в качестве богатых источников апатита приобрели месторождения карбонатитов, большая часть которых образовалась в мезозое.

Все они формировались в платформенных условиях и генетически связаны со сложным комплексом щелочных пород. В Канаде, США и Бразилии месторождения карбонатитов приурочены к гниабиссальным интрузивным породам предположительно мелового возраста. В Африке (Танзании, Малави, Мозамбике, Уганде, Родезии, Замбии и Заире) карбонатиты связаны с вулканическими образованиями, которые прорывают отложения пермо-триаса и перекрываются осадками и лавами нижнего мела.

К кайнозой относится формирование крупнейших в мире месторождений фосфоритов Северной Африки, расположенных вдоль побережья Средиземного моря на территории Марокко, Алжира, Туниса, а также месторождения западной части штата Флорида в США. Крупное месторождение сравнительно бедных фосфоритов (содержание P_2O_5 от 5 до 15%), приуроченных к миоценовым отложениям, разведано в последние годы в Перу. Известные в других странах, в том числе в СССР, кайнозойские месторождения фосфоритов обычно имеют небольшое практическое значение. На коралловых островах Тихого и Индийского океанов, островах Чили, Китая и Японии разрабатываются месторождения гуано.

В общих балансовых запасах фосфатного сырья Советского Союза в пересчете на P_2O_5 удельный вес месторождений апатита достигает 46%, а в общесоюзной добыче — 75%. В капиталистических и развивающихся странах основу сырьевой базы фосфатной промышленности составляют фосфориты, а на долю апатитов приходится менее 3% общих запасов и суммарной добычи фосфатного сырья.

По масштабу промышленной минерализации принято выделять крупные месторождения апатита, запасы которых превышают 100 млн. т P_2O_5 , средние составляют десятки и мелкие — первые миллионы тонн.

По морфологическим признакам выделяют три типа промышленных месторождений апатита:

— пласто- и линзообразные залежи апатит-нефелиновых руд центральных интрузий агаитовых нефелиновых сиенитов;

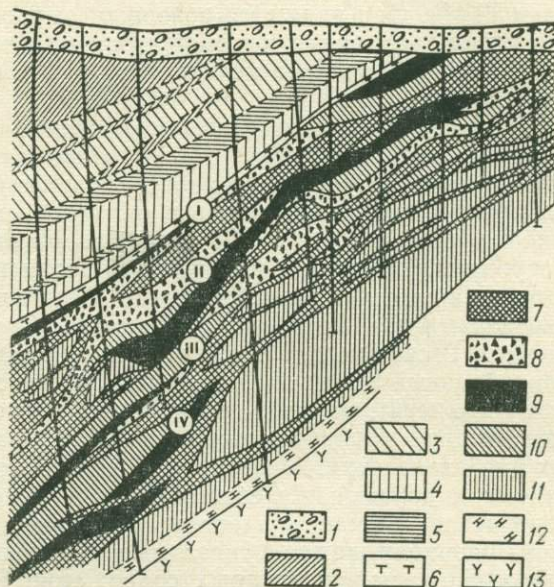
— карбонатитовые залежи апатитсодержащих комплексных руд изометричной, линзовидной или неправильной формы центральных интрузий ультраосновных щелочных пород;

— массивы щелочных, основных или кислых интрузивных пород с рассеянной апатитовой минерализацией.

К первому типу относятся Хибинские месторождения *апатит-нефелиновых руд*, расположенные в СССР в центральной части Кольского полуострова и приуроченные к многофазной интрузии щелочных пород. Интрузивный массив пермо-карбового возраста, имеющий в плане эл-

Рис. 53. Геологический разрез через центральную часть рудной зоны Коашвинского месторождения. По Е. А. Каменеву и А. С. Михенчеву.

I, II, III, IV — рудные горизонты.
 1 — четвертичные отложения. Пострудные образования: 2 — массивные ювты; 3 — трахитоидные уртиты; 4 — трахитоидные ийолиты; 5 — мельтейгиты; 6 — сфен-апатитовые руды; 7 — массивные уртиты; 8 — брекчия апатитовых руд с уртитовым цементом; 9 — апатитовые руды пятнистые, пятнисто-полосчатые; 10 — полосчатые, блоковые и линзовидно-полосчатые руды. Дорудные образования: 11 — трахитоидные уртиты, ийолиты; 12 — малиньиты; 13 — хибиниты



липсоидальную форму, залегает в контакте гнейсов архея и осадочно-эффузивной толщи протерозоя.

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. Промышленные залежи апатит-нефелиновых руд приурочены к комплексу нефелин-сиенитовых пород, слагающих юго-восточную часть массива, в виде дуги протяженностью более 80 км при средней мощности около 100 м. В высячем боку залежей обычно находятся слюдяные нефелиновые и эгириновые сиениты, в лежачем — породы ийолит-уртитового ряда (рис. 53). Главными минералами апатит-нефелиновых руд являются апатит, нефелин, эгирин, полевой шпат, сфен и титаномagnetит.

По характеру минерализации и структуре руд выделяются две зоны. Верхняя 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 сортовое 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 1974 г. балансовые 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 содержание P_2O_5 составляет 39,4%. Они являются основным сырьем для производства удобрений на предприятиях туковой промышленности СССР. Аналогичные месторождения апатита по качеству руд и масштабу оруденения неизвестны.

За последние годы резко возросло во многих странах количество месторождений *карбонатитов*, содержащих апатит в промышленных концентрациях. Особенно широко карбонатиты распространены в Центральной и Южной Африке, где они прослеживаются вдоль региональных разломов от Заира и Уганды до Намибии и Южно-Африканской Республики. Обширный район распространения крупных месторождений этого типа выделен на юго-востоке Бразилии. Сходные месторождения разведаны в США, Канаде, Советском Союзе, Финляндии, Норвегии, Швеции, Шотландии, Гренландии и Австралии. Они содержат весьма разнообразный комплекс минералов, из которых практическое значение имеют магнетит, апатит, халькопирит, редкоземельные минералы, флогопит и др., присутствующие в рудах в количествах, рентабельных для извлечения. Апатит часто находится в тесном сростании с магнетитом и другими железистыми минералами, что затрудняет его извлечение и снижает качество полученных фосфатных концентратов. Чаще разрабатываются связанные с карбонатитами остаточные элювиальные залежи, в которых содержание P_2O_5 иногда достигает 30—40%, между тем, как в коренных рудах оно редко превышает 10%. Запасы апатита коренных руд наиболее крупных месторождений превышают 100 млн. т, а коры выветривания и элювиальных россыпей достигают 10 млн. т.

Разведанные запасы карбонатитовых руд месторождения Сукулу в Уганде составляют 130 млн. т при содержании 13% P_2O_5 и 0,2% Nb_2O_5 . Разрабатываемая открытым способом кора выветривания, содержащая 31% апатита, 28% магнетита и 29% гематита. Производительность предприятия — 500 тыс. т апатитового концентрата (40,5—41,5% P_2O_5).

На медном месторождении Палабора в ЮАР интенсивно разрабатываются фоскориты, окружающие карбонатитовое ядро, содержащие более 25% апатита. Годовое производство апатитового концентрата составляет 450 тыс. т.

Большинство известных в зарубежных странах месторождений карбонатитов недостаточно изучено и до настоящего времени не освоено промышленностью в качестве источников фосфатного сырья. Многие из них находятся в отдаленных районах и все еще не могут конкурировать с разрабатываемыми месторождениями фосфоритов Северной Африки и США.

В Советском Союзе месторождения карбонатитов представляются наиболее перспективными источниками добычи фосфатного сырья, учитывая научно обоснованную возможность выявления связанных с ними крупных ресурсов апатита в районах Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, где другие источники сырья для производства удоб-

рений ограничены. Весьма интересной в этом отношении представляется Маймеча-Котуйская провинция на севере Красноярского края, где широко развиты интрузии ультраосновных щелочных пород и связанные с ними апатит-магнетитовые руды, содержащие 10% P_2O_5 и более.

Карбонатитовые месторождения с промышленными концентрациями апатита в комплексных рудах выявлены также в Иркутской области.

Пока из известных в стране месторождений этого типа получение апатитовых концентратов производится на Ковдорском железорудном месторождении. Среднее содержание фосфорного ангидрида в рудах составляет 7,04%. Балансовые 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.

Широко распространены массивы интрузивных пород, особенно габбро-диоритов и габбро-анортозитов, с *рассеянной вкрапленностью апатита* в ассоциации с магнетитом, титаномагнетитом, рутилом или ильменитом. Самостоятельного значения в качестве источника апатита они обычно не имеют, поскольку содержание его в рудах составляет только первые проценты. Апатитовые концентраты могут быть получены попутно с концентратами основных компонентов руд.

К этому типу относятся магнетитовые месторождения на севере и в центре Швеции, пространственно и генетически связанные с интрузиями сиенитов. Рудная залежь наиболее крупного месторождения Кирунавара имеет линзообразную форму и протягивается на 5,8 км при мощности от 30 до 150 м (в среднем 90 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 оцениваются в 30 млн. т при содержании от 8 до 13%. Производство апатитового концентрата в период второй мировой войны достигало в Швеции 150 тыс. т.

Промышленные концентрации апатита весьма характерны для многочисленных месторождений титана США и Канады, приуроченных к габбро-анортозитовым массивам докембрия. Оруденение представлено в виде мелкоокрапленных зон, в которых апатит ассоциирует с минералами титана. Содержание его в рудах обычно не превышает 10%. В месторождении Роузленд (США) помимо мелкоокрапленных зон в анортозитах выделяются также жилкообразные и дайкообразные залежи, состоящие в основном из рутила и апатита или ильменита и апатита. Содержание в них апатита достигает 10—35%.

В СССР на Волковском месторождении, расположенном на Среднем Урале, медное (борнит, халькопирит и халькозин), титаномагнетитовое и апатитовое оруденения локализованы в массиве габбро в форме зон вкрапленных руд. Содержание апатита колеблется от 4 до 9—10%. В подсчитанных запасах руд среднее содержание P_2O_5 составляет 3,9%.

Разведано и подготавливается к эксплуатации Ошурковское месторождение, представленное нижнепротерозойскими диоритами, в которых единственным полезным компонентом является апатит. Содержание его колеблется 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 протяжен-

ностью до 500—600 м при ширине 100—400 м содержание P_2O_5 повышается до 5—6%. Балансовые запасы руд составляют 998 млн. т (39 млн. т P_2O_5). Руды хорошо обогащаются, позволяют получать концентрат, содержащий 35% P_2O_5 , и отличаются благоприятными условиями разработки.

Сравнительно редко встречаются промышленные *месторождения осадочно-метаморфического типа*, представленные стратиформными пластовыми залежами среди докембрийских гнейсов и кристаллических сланцев. Они известны на юго-востоке Китая, в КНДР и на востоке СССР. Обычно они характеризуются небольшими запасами руд, содержащих в среднем 4—5% P_2O_5 .

В СССР к этому типу относится открытое в 1972 г. Селигдарское месторождение, расположенное в Центрально-Алданском районе. По данным Ф. Л. Смирнова и В. А. Биланенко, оруденение в форме обильной вкрапленности апатита локализуется в карбонатных существенно доломитовых породах предположительно федоровской свиты. Содержание P_2O_5 в рудах колеблется от первых процентов до 27% и составляет в среднем 7—8%. Прогнозные запасы изученных участков с учетом площади выхода продуктивного горизонта в 1 км² при подсчете до глубины 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 33—34% P_2O_5 при извлечении 75%.

Не имеют практического значения для получения апатитовых концентратов широко распространенные во многих странах *пневматолито-гидротермальные жильные* месторождения весьма разнообразного минерального состава.

Среди месторождений фосфоритов выделяются следующие три типа:

— геосинклинальные* пластовые залежи значительной мощности тектонически нарушенные, представленные оолитовыми, микрозернистыми карбонатными и кремнисто-карбонатными рудами;

— платформенные пластовые и пластообразные залежи средней и небольшой мощности, горизонтального (слабонаклонного) залегания, тектонически ненарушенные, представленные зернистыми желваковыми кварц-глаукоцитовыми и ракушечными рудами и переотложенными галечниками;

— коры выветривания изменчивой мощности, морфологически сложные залежи, представленные карбонатно-кремнистыми рудами.

Месторождения фосфоритов, образовавшихся в *геосинклинальных условиях*, характеризуются сложными условиями залегания продуктивных пластов (крутое падение и многочисленные дизъюнктивные нарушения), мощность которых достигает 30—40 м при высоком содержании фосфорного ангидрида (до 34%). Тонкозернистые кремнисто-карбонатные фосфориты часто несут следы метаморфизма, содержат много вредных примесей и требуют сложных методов получения концентратов, пригодных для кислотной переработки на растворимые удобрения. Запасы руд отдельных месторождений составляют 50—700 млн. т. К этой группе в США относится бассейн Скалистых гор, представленный фос-

* В группу геосинклинальных также включены месторождения в областях перикратонных опусканий (бассейн на севере Австралии) и зонах активизации (бассейн Южного Китая).

фосфоритными отложениями нижнего карбона (формация миссисипи) и перми (формация фосфориа). Нижнекарбонные фосфориты, развитые преимущественно в штате Юта, представлены фосфатизированными сланцами, залегающими среди толщи карбонатных пород. Они невысокого качества и не имеют большого промышленного значения.

Месторождения формации фосфориа (рис. 54) отличаются более высоким качеством (среднее содержание пятиоксида фосфора в разраба-

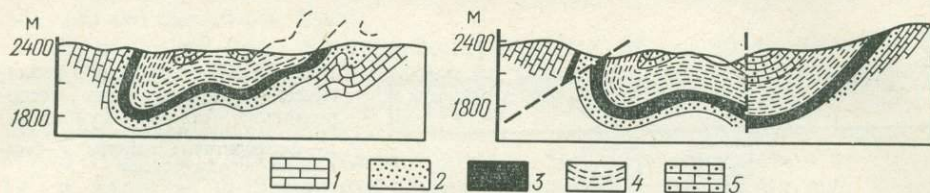


Рис. 54. Строение фосфоритной формации в штате Вайоминг (США).

1 — известняки карбона; 2 — песчаники; 3 — фосфоритный горизонт; 4 — сланцы; 5 — известняки перми

тываемых пластах составляет 30—32%) и заключают основные промышленные запасы фосфоритов этого бассейна. Формация фосфориа (мощностью 100—300 м) сложена интенсивно дислоцированными фосфатизированными кремнисто-глинистыми сланцами и мергелями. В нижней ее 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 окислов — 1,0—4,0%, CaO — 44—52%, F — 2,9—6,9%, SiO_2 — 5—17%, Cr_2O_3 — 0,08—0,23% и V_2O_5 — 0,11—0,25%. Кроме того, в фосфоритах содержится уран. Фосфориты относятся к типичным морским геосинклинальным образованиям. Для них характерно наличие мощных фосфатизированных толщ, пластовая форма линейно вытянутых на большие пространства рудных залежей, высокое содержание фосфора, парагенезис с кремнисто-карбонатными породами, сложное залегание вследствие дизъюнктивных нарушений.

В юго-западной части штата Монтана в формации фосфориа выделяются две фосфоритоносные пачки мощностью 4,5 и 22,5 м, в которых общие запасы руд оцениваются примерно в 8 млрд. т. Прогнозные запасы фосфоритных формаций бассейна Скалистых гор оцениваются в 1,7 трлн. т.

Уровни добычи фосфоритов бассейна далеко не соответствуют их огромным запасам в связи с высокими издержками производства сравнительно с флоридскими рудами и ограниченной потребностью в удобрениях прилегающих районов.

Фосфориты Каратау в СССР приурочены к известняково-доломитовым отложениям и выделены в особую фосфоритную серию пород нижнекембрийского возраста, мощность которой достигает 70—75 м. Она представлена чередующимися пластами фосфоритов, слабо фосфатизированных кремнистых сланцев и кремней и фосфатно-карбонатных пород. В основании фосфоритной серии располагается горизонт «нижних доломитов» (3—20 м), залегающий на размытой поверхности кремнистых сланцев и песчаников каройской свиты. 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, сложенные в основном мелкими (0,05—0,2 мм) фосфатными зернами или оолитами, сцементированными фосфатно-карбонатно-кремнистым цементом. В них также присутствуют кальцит, доломит, халцедон, кварц, окислы железа, пирит и другие минералы. Редко встречаются конкреционные фосфориты, а также фосфоритные конгломераты с из-



Рис. 55. Схематический геологический разрез через месторождения Алжира—Туниса.

1 — фосфоритовые пласты; 2 — осадочные породы эоцена

вестковистым или фосфатным цементом. Среднее содержание P_2O_5 в фосфоритах составляет 25—30% (иногда 35% и выше), в карбонатных и кремнистых фосфоритах — ниже 25%. Среднее содержание полуторных окислов 2,0—2,5, редко 3,5%. Местами в связи с внедрением гранитов, вызвавших интенсивный метаморфизм близзалегающих пород, произошла полная перекристаллизация фосфоритов и преобразование их в тонкий агрегат апатита.

Основная часть фосфоритов Каратау предназначена для электротехнической переработки на желтый фосфор. В связи с этим балансовые запасы руд, составляющие 1355 млн. т; могут быть значительно увеличены за счет забалансовых фосфоритов, содержащих от 15 до 23% P_2O_5 , и фосфатно-кремнистых сланцев. Добыча руд в бассейне в 1974 г. достигла 7600 тыс. т (1919 тыс. т P_2O_5 — 21% общесоюзной добычи).

Геосинклинальные пластовые тонко- и скрытокристаллические фосфориты, приуроченные к карбонатно-кремнистым и вулканогенно-карбонатно-кремнистым отложениям рифея и кембрия, выявлены также в Алтае-Саянской складчатой области. Мощность продуктивных пластов составляет 2—10 м при содержании 9—12% P_2O_5 . Преобладают небольшие месторождения с запасами руд от 10 до 100—150 млн. т.

К платформенным образованиям относятся крупнейшие в мире бассейны фосфоритов Северной Африки (рис. 55), расположенные вдоль побережья Средиземного моря и прослеживающиеся от Марокко через Алжир до Туниса. Фосфоритоносные отложения представлены чередованием пластов плотных или рыхлых фосфоритовых масс с мергелями и мергелистыми известняками нижнего эоцена. Фосфоритоносная свита сильно дислоцирована, размыта и сохранилась преимущественно в синклинальных структурах. Мощность фосфоритной свиты изменяется от 7—12 до 80—100 м, число фосфоритных пластов колеблется от 2 до 11 м при мощности их от 0,1 до 6 м. Пласты фосфоритов состоят из тонких зерен (0,1—0,5 мм) фосфорита, заключенных в фосфатном или известковистом цементе.

Общие запасы фосфоритовых руд бассейна оцениваются примерно в 45 млрд. т, в том числе достоверные и вероятные — более 5 млрд. т при среднем содержании в них пятиоксида фосфора по отдельным месторождениям от 22 до 34%.

Пластовые и пластообразные залежи платформенных фосфоритов особенно широко развиты в СССР на Русской платформе и в Казах-

стане. На обширных площадях распространены желваковые фосфориты, залежи которых отличаются небольшой мощностью (0,3—1,8 м) и сравнительно невысоким содержанием P_2O_5 (8—13%, реже — до 17%). Концентраты первичного обогащения путем сухого или мокрого грохочения содержат от 15—18 до 24—26% P_2O_5 и значительное количество вредных примесей для переработки на растворимые удобрения. Поэтому желваковые фосфориты в основном используются для производства фосфоритной муки.

В пределах Русской платформы учтено около 80 месторождений и в пределах Казахстана — примерно 20 месторождений, сосредоточенных в Актюбинском фосфоритоносном бассейне. По масштабу минерализации выделяется Вятско-Камский бассейн, занимающий площадь около 1900 км². Фосфоритный горизонт бассейна мощностью от 0,5 до 1,8 м залегает в кварц-глауконитовых песках валанжинского яруса. 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, местами сцементированных фосфатистым 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 верхневолжского яруса, выше заключены желваки, образовавшиеся в нижнемеловое время. Содержание P_2O_5 в руде колеблется от 13 до 17,5%. Балансовые запасы руд составляют 2,3 млрд. т.

Ракушечные фосфориты особенно широко развиты в районах Прибалтики вдоль южного берега Финского залива в пределах Ленинградской области и Эстонской ССР. Залежи их приурочены к оболочкам пескам и песчаникам нижнего ордовика. Мощность продуктивного горизонта колеблется от 0,5 до 6 м, при среднем содержании пятиоксида фосфора от 5 до 10%, редко выше. Обычно наибольшая концентрация фосфатного ракушечного материала наблюдается в верхней части фосфоритного горизонта. Руды сравнительно легко обогатимы. Методом флотации получается концентрат, содержащий 26—28% P_2O_5 при извлечении до 90%.

К платформенным образованиям относятся переотложенные фосфориты штата Флорида в США, обеспечивающие более $\frac{1}{3}$ суммарного производства товарной фосфатной продукции капиталистических и развивающихся стран. Фосфоритоносный бассейн занимает площадь, превышающую 550 тыс. га, в пределах которой развиты два типа руд. Твердые фосфориты (hardrock), составляющие 30% всех запасов Флориды (1,6 млрд. т), приурочены к полосе, вытянутой вдоль Мексиканского залива на 240 км, шириной от 8 до 40 км. Фосфориты залегают на неровной закарстованной поверхности эоценовых известняков формации хауторн, образуя отдельные неправильной формы залежи мощностью до 30 м. Они содержат 33—36% P_2O_5 , 1,2—2,7% R_2O_3 , 0,1—0,5% MgO, 43—51% CaO, 3,4—3,9% F, 4,7% SiO₂.

Более крупные ресурсы заключены во втором типе руд — в морских месторождениях желваковых или галечных фосфоритов, которые являются основными источниками добычи руд в бассейне. Фосфоритные пласты мощностью от 0,3 до 7,5 м залегают на размывтой поверхности отложений формации хауторн и состоят из желваков размером от

Основные параметры
морфогенетических типов разрабатываемых месторождений
фосфатного сырья

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдель- ных месторождений, млн. т P_2O_5	Содержание P_2O_5 , %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горнообогатительного пред- приятия, млн. т	
			открытой	подземной	в разведанных запасах		в добыче		открытым способом	подземным способом
					в СССР	в капитали- стических и развиваю- щихся странах	в СССР	в капитали- стических и развиваю- щихся странах		
Фосфориты										
Геосинклинальные пластовые залежи значительной мощности, тектонически нарушенные, представленные оолитовыми, микрозернистыми карбонатными и кремнисто-карбонатными рудами	40—700	10—30	До 200	400	24	23	22	10	1—10	1—2
Платформенные пластовые и пластообразные залежи средней и небольшой мощности, горизонтального (слабонаклонного) залегания, тектонически ненарушенные, представленные зернистыми желваковыми кварц-глаукоцитовыми ракушечными рудами и переотложенными галечниками	20—300	7—35	20—40	150	30	73	15	80	0,8—4	1,5

Коры выветривания изменчивой мощности, морфологически сложные залежи, представленные карбонатно-кремнистыми рудами	2—40	17—38	Свед. нет	—	—	1	—	8	0,7—1,5	—
Апатиты										
Пласто- и линзообразные залежи апатит-нефелиновых руд центральных интрузий апатитовых нефелиновых сиенитов	100—600	8—18	До 350	До 1000	37	—	63	—	1—18	2—5
Карбонатитовые залежи апатитсодержащих комплексных руд изометричной, линзовидной или неправильной формы центральных интрузий ультраосновных щелочных пород	10—600	7—30	До 500	—	6	—	—	—	2—10	—
Массивы щелочных, основных или кислых интрузивных пород с рассеянной апатитовой минерализацией	30—900	3—5	—	—	3	3	—	2	—	—

долей сантиметра до 3,5 см, заключенной в песчаном или глинистом материале. В среднем выход фосфоритовых желваков из общей массы составляет 25%. Фосфориты содержат 30—34% P_2O_5 , 1,7—3,6% R_2O_3 , 46—50% CaO, 0,1—0,6% MgO, 3,5—3,9% F, 7—10% SiO_2 и, кроме того, уран, который извлекается при переработке фосфоритов, начиная с 1957 г. Месторождения галечных фосфоритов заключают примерно 70% (3,55 млрд. т) общих запасов Флориды. В пределах бассейна известны также речные галечные фосфориты, образовавшиеся за счет размыва фосфоритовых месторождений и фосфатизированных известняков формации хауторн и переотложения фосфоритного материала речными потоками.

Крупный бассейн платформенных фосфоритов Байобр разведан в последнее время в Перу в пустыне Сечура, где он занимает площадь более 700 тыс. га. Выдержанные по мощности пласты зернистых фосфоритов приурочены к миоценовым отложениям, представленным в основном сланцевыми диатомидами с прослоями песчаников и известняков. Пласты фосфоритов мощностью 1—1,2 м залегают вблизи поверхности при обычном соотношении вскрышных и продуктивных пород менее 1:5. Вскрышные породы представлены песками, в которых содержание KCl составляет 0,7% и может повыситься при условии естественного выпаривания до 4,75%. Разведанные запасы руд составляют 1,5 млрд. т.

Нередко встречаются промышленные месторождения вторичных фосфоритов *коры выветривания*, возникшие вследствие процессов выщелачивания карбонатных компонентов из фосфатизированных пород и соответствующего обогащения их фосфатным веществом или переотложения последнего. В Советском Союзе к ним относится ряд месторождений Алтае-Саянской складчатой области, приуроченные к зоне выветривания карбонатно-кремнистых формаций верхнего рифея и нижнего кембрия. По данным В. С. Васильева и А. Н. Круглова, кора выветривания наиболее крупного Телекского месторождения развита на сильно закарстованной поверхности карбонатных пород (преимущественно доломитов) камешковской свиты нижнего кембрия и достигает глубины 150—200 м. Продуктивными являются переотложенные продукты выветривания различных пород, в значительной степени фосфатизированные и представленные в форме весьма сложных залежей. Основная залежь прослежена на протяжении 6 км при ширине 50—1500 м. Преобладают рыхлые песчано-глинистые фосфориты с относительно выдержанным содержанием P_2O_5 (15—23%), менее развиты участки богатых каменистых (24—35%) и бедных глинистых (7—14%) фосфоритов. Разведанные запасы руд по категориям В+С₁ составляют 100,4 млн. т (14,74% P_2O_5) и С₂ — 61,3 млн. т (12,52% P_2O_5). Технико-экономическими расчетами доказана целесообразность создания на базе Телекского и Обладжанского месторождений комбината мощностью 240 тыс. т желтого фосфора.

Среди разведанных в мире месторождений фосфатного сырья могут быть выделены шесть морфогенетических типов (табл. 13), составляющих основу фосфатной промышленности.

КАЛИЙНЫЕ СОЛИ

Более 95% мировых ресурсов калийных солей сосредоточено в ископаемых осадочных месторождениях, формирование которых началось в верхнем палеозое. Так, в среднем девоне образовались соленосные

отложения Саскачеванского бассейна в Канаде, в верхнем девоне — Припятского прогиба в СССР, в нижней перми — Верхнекамского бассейна и в верхней перми — Цехштейновый калиеносный бассейн Западной Европы. В пермское время образовалась также соленосная толща Делаварского бассейна в США. Калийные соли мезозойского возраста известны в Средней Азии, третичного возраста — во Франции, ФРГ, Испании и в западных районах Украинской ССР.

До настоящего времени не выявлены промышленные концентрации калийных солей в отложениях, древнее, чем верхнепалеозойские. Следы присутствия калийной соли, прослой и линзы ангидрита и гипса обнаружены на Канадском щите среди мраморов серии грэнвилл, абсолютный возраст которой превышает 1100 млн. лет. Имеются геологические предпосылки к выявлению промышленных месторождений калийных солей, приуроченных к кембрийским соленосным отложениям Сибирской платформы, особенно в пределах Канско-Тасеевской депрессии в Красноярском крае, а также в ряде районов Иркутской области.

По условиям залегания К. Б. Донченко (1970) считает целесообразным выделить две группы ископаемых калийных солей:

— приуроченные к слабо дислоцированным соляным толщам, в которых калийные соли сохраняют ненарушенное или лишь местами осложненное складками течения пластовое, более или менее пологое залегание;

— приуроченные к соляным структурам различных видов, сильно и дисгармонично дислоцированным, обычно представленным линзообразными залежами.

По горнотехническим условиям разработки месторождений Л. Н. Андричев (1964) рекомендует разделить их на следующие четыре группы.

Первая группа, типичными представителями которой являются Верхнекамский и Саскачеванский бассейны, представлена пологопадающими пластами с небольшими тектоническими нарушениями в виде местной складчатости или небольших поднятий и опусканий пласта. В кровле продуктивной толщи залегает пласт молодой каменной соли, защищающий калийные соли от проникновения в них воды. Контакт соляных отложений с покровными породами обычно обводнен и представлен вторичными образованиями в виде гипсовой шляпы, глинистых остатков, а иногда (там, где каменная соль оказывается размытой) отложениями вторичных солей.

Вторая группа отличается от первой более благоприятными геологическими и гидрогеологическими условиями. Характерной особенностью их является наличие над продуктивной зоной мощных слоев глин и покровной каменной соли. На контакте соляных отложений водоносный горизонт нередко отсутствует. К этой группе относятся Калужское месторождение Предкарпатского бассейна, месторождения центральной части Южного Гарца, области Верра и Делаварский бассейн.

Третья группа представлена также пологозалегающими пластами, прикрытыми сверху мощной толщей водонепроницаемых и нерастворимых в воде пластичных пород (обычно глинистых мергелей); контакт их с соляными отложениями не обводнен. К этой группе можно отнести Старобинское и Эльзасское месторождения.

Четвертая группа представлена купольными структурами, калийные пласты в которых характеризуются большими тектоническими нарушениями в виде сильной складчатости, сбросов, раздувов и выклиниваний. В результате купольных поднятий надсолевая толща пород часто оказывается разорванной и сдвинутой на склоны купола, благодаря чему воды верхних горизонтов получают доступ к калийным пластам; вершины купола подвергаются выщелачиванию и превращаются в гипсовую шляпу, обычно сильно обводненную. Доступ воды в соляные отложения может происходить здесь как через гипсовую шляпу, так и по наклонным или крутопадающим глинистым прослойкам, трещинам и карстовым образованиям. К этой группе относятся Индерское месторождение, а также большая часть месторождений Стассфуртского и Ганноверского районов. Сюда же следует отнести и некоторые месторождения некупольного типа, например Стебниковское и Жилинское месторождения с их пластами, собранными в широкие антиклинальные или синклиналильные складки с крутопадающими крыльями.

Количество пластов в отдельных месторождениях колеблется от 2 до 35, но в разработку обычно включается два—четыре наиболее рентабельных пласта мощностью более 1,2 м с содержанием K_2O не

менее 14%. Ископаемые осадочные месторождения калийных солей, за одним исключением, разрабатываются подземным способом. Важным фактором, оказывающим существенное влияние на экономическую эффективность промышленного освоения месторождений и определяющим систему его отработки, является степень устойчивости кровли калийных пластов. При повышенной устойчивости кровли допускается проходка камер оптимальной ширины наиболее экономичным буро-взрывным способом без крепления. При неустойчивости кровли применяется машинная отбойка руды в менее широких выработках при дополнительных затратах на их крепление. При этом остаются значительные межкамерные целики и резко возрастают потери в недрах разведанных запасов. На месторождениях Предкарпатского бассейна при применении камерной системы потери при добыче составляют 45%, а при камерной системе с подэтажными ортами возрастают до 60%. При частичной подработке межкамерных целиков потери снижаются до 35—30%. По составу рудообразующих минералов выделяются три типа солей:

- хлоридный, представленный сильвинитом и карналлитом;
- сульфатно-хлоридный, представленный сильвинитом, карналлитом, бишофитом, кизеритом, полигалитом и каинитом;
- сульфатный, представленный каинитом, лангбейнитом, сильвинитом, кизеритом и полигалитом.

В пределах одного и того же бассейна или месторождения могут быть одновременно развиты бессульфатные и сульфатные соли, так же как выдержанные по мощности пластовые залежи встречаются наряду со сложнорасчлененными линзообразными телами.

Вредными примесями в калийных солях являются хлористый магниевый и глинистый материал, содержание которых существенно влияет на обогатимость руд и на себестоимость товарной продукции.

Обогащение добываемого сырья производится преимущественно флотацией, реже применяются галургический способ и гравитация. При повышенном содержании нерастворимого остатка вводится дополнительная операция по обесшламованию пульпы перед основной флотацией. Для повышения качества основной продукции — хлористого калия — вводится операция для выщелачивания карналлита; стандартный концентрат хлористого калия содержит 60—62% K_2O . Основным продуктом флотации предкарпатских сульфатных солей является калийно-магниевый концентрат, содержащий 18—20% K_2O . При галургической переработке этих солей товарной продукцией служат сульфат калия (50% K_2O), сульфат натрия, калийно-магниевый концентрат (19% K_2O), бишофит, гипс и пищевая соль.

Крупнейшие бассейны и большинство промышленных месторождений калийных солей приурочены к слабодислоцированным соляным толщам и представлены преимущественно хлоридными солями. К ним относятся Саскачеванский, Делаварский, Верхнекамский и Припятский бассейны, а также большая часть калийных солей Западной Европы.

В Канаде соленосная толща Саскачеванского бассейна прослежена на протяжении 800 км при ширине 250 км. Пласты калийных солей 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 окиси калия в промышленных пластах составляет 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 пльвуны.

До глубины 1050 м общие запасы калийных солей бассейна в пересчете на K_2O составляют 29 млрд. т, а достоверные и вероятные — 11 млрд. т. Геологические его запасы с учетом более глубоко залегающих пластов, пригодных для рентабельной разработки методом выще-

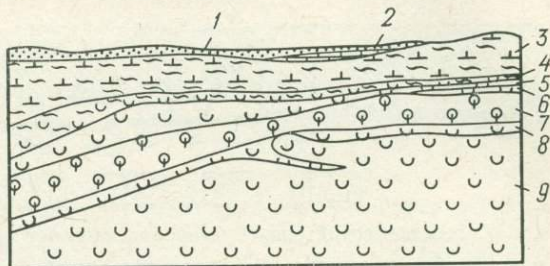


Рис. 56. Типичный разрез Верхнекамского бассейна.

1 — наносы; 2 — известняки; 3 — глины, мергели; 4 — глины, гипсы (гипсовая шляпа); 5 — каменная соль; 6 — вторичные калийные образования; 7 — карналлиты; 8 — сильвинитовая зона; 9 — каменная соль

лачивания, оцениваются в 50 млрд. т K_2O . Бассейн занимает первое место в мире по добыче калийных солей. В 1943 г. произведено более 4 млн. т товарной продукции.

Общая мощность соленосной толщи Делаварского бассейна, развитой на площади 4,5 тыс. км², составляет 1200—1350 м. Она включает до 35 пластов калийных солей, в том числе 13 промышленных, образующих две сильвинит-галитовые зоны, разделенные каменной солью и полигалитом. Мощность пластов колеблется от 0,6 до 4,4 м, а глубина их залегания — от 200 до 540 м. Пласты отличаются спокойным залеганием, образуя пологие складки небольшой амплитуды, подстилаются и покрываются каменной солью, от которой обычно отделяются прослоями зеленоватой глины мощностью 5—7 см. Мощность пластов, сложенных главным образом сильвинитом, колеблется от 1,2 до 3,6 м. Кроме сильвинита в разрабатываемых пластах присутствуют в небольшом количестве полигалит, лангбейнит, карналлит и другие минералы. В карналлите установлено наличие окиси рубидия до 0,5%. Общие запасы сильвинитовых солей бассейна оцениваются около 7 млрд. т в пластах мощностью не менее 1,2 м при содержании K_2O не ниже 14% (24% KCl).

Крупнейший в Советском Союзе Верхнекамский бассейн калийных солей, заключающий также колоссальные ресурсы каменной соли, приурочен к отложениям кунгурского яруса Предуральяского прогиба (рис. 56). Калийные соли подстилаются мощной толщей каменной соли; перекрываются они также слоем каменной соли (покровная соль) варьирующей мощности, 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. Карналлитовая зона сложена чередующимися слоями карналлитовых солей, пестрых сильвинитов и каменной соли. В этой зоне выделяются девять пластов калийных солей. Пласты верхней части зоны в основном сложены карналлитовой породой; в средней части зоны наблюдается фациальная смена карналлитовой породы пестрым сильвинитом; нижняя часть зоны в западной части месторождения сложена карналлитом и смешанными солями, которые к востоку замеща-

ются сильвинитом и каменной солью. Ниже по разрезу карналлитовая зона сменяется сильвинитовой, представленной четырьмя пластами, состоящими из перемежающихся слоев сильвинита и каменной соли. Сильвинитовая зона подстилается каменной солью. Пласты калийных солей на большей части площади залегают горизонтально, но иногда с углами падения от 10 до 60°, что обусловлено проявлением внутри-соляной тектоники. В зависимости от содержания хлористого калия мо-

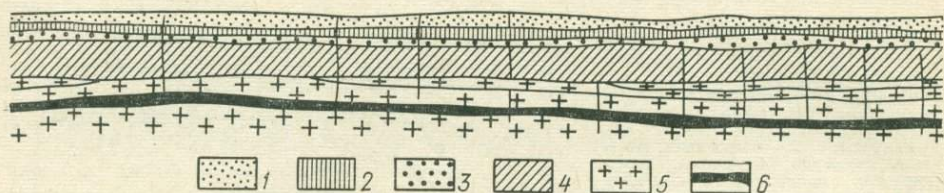


Рис. 57. Геологический разрез Старобинского бассейна.

1 — четвертичные отложения; 2 — кайнозойские отложения; 3 — меловые отложения; 4 — глинисто-мергелистая свита девона; 5 — соленосная свита; 6 — калийные соли

гут быть выделены богатые и умеренно богатые руды южной части (31—40% хлористого калия), а также относительно более бедные руды центральной и северной частей бассейна (16—30% хлористого калия).

Богатые и умеренно богатые руды подразделяются на глинистые, содержащие нерастворимого остатка (н. о.) 3,0—5,6%, и малоглинистые с содержанием н. о. 1,7—1,9%, более бедные руды центральной и северной частей бассейна содержат нерастворимого остатка 1,2—1,7%, часто менее одного процента. Балансовые запасы сырых солей бассейна составляют 130 млрд. т, 25 млрд. т K_2O . Годовая добыча достигла 19,4 (3,8 K_2O) млн. т.

Несколько уступает Верхнекамскому бассейну по масштабу и качеству калийной минерализации расположенный к северу от него Верхнепечорский бассейн, представленный сильно глинистыми карналлитсодержащими сильвинитами и карналлитами, не используемыми в настоящее время для производства калийной продукции.

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 Старобинского бассейна (рис. 57) мощностью от 245 до 660 м прослежена на площади 25—30 тыс. м². Она представлена чередованием пластов каменной 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. 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 до 30 пластов калийных солей мощностью от 3 до 20 м. Преобладают глинистые (5—7% н. о.) и сильно глинистые (6—10%) руды, развитые на Старобинском месторождении, и практически лишены нерастворимых примесей (0,5% н. о.) руды Петриковского месторождения. Содержание K_2O в рудах этих месторождений дости-

гает соответственно 29,4 и 22,3%. Балансовые запасы сырых солей бассейна составляют 42 млрд. т (7 млрд. т K_2O).

В Советском Союзе к этому типу относится также Среднеазиатский бассейн, соленосная толща которого мощностью до 300 м приурочена к отложениям верхней юры (кимеридж—титон). Она распространена на площади около 10 тыс. км² и включает четыре пласта калийных солей, из которых два пласта имеют практическое значение. Один

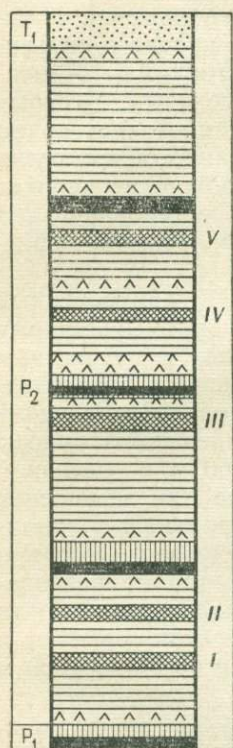


Рис. 58. Сводный схематический разрез цехштейна. По Г. Рихтеру-Бернбургу.

1 — пестрые песчаники; 2 — соляная глина; 3 — доломиты; 4 — ангидриты; 5 — каменная соль; 6 — калийные соли. Горизонты калийных солей: I — Гессенский, II — Тюрингенский, III — Стассфуртский, IV — Ронненбергский, V — Ридельский

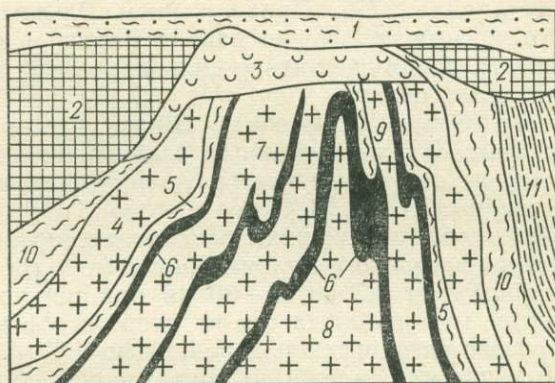


Рис. 59. Калийные месторождения купольного типа (район Ганновера, ФРГ).

1 — делювий; 2 — нижнемеловые отложения; 3 — гипсовая шляпа; 4 — верхняя молодая каменная соль; 5 — соляные глины; 6 — калийные пласты; 7 — средняя молодая каменная соль; 8 — нижняя древняя каменная соль; 9 — ангидриты и соляные глины; 10 — триасовые отложения; 11 — юрские отложения

из них сложен почти нацело сильвинитом, другой сильвинитом и карнилитом. Пласты залегают на глубинах от 50 до 130 м и перекрываются красноцветными отложениями нижнемелового возраста. Балансовые запасы бассейна составляют 30 млрд. т сырых солей (8 млрд. т K_2O).

Соленосные отложения цехштейнового бассейна Центральной Европы (рис. 58) распространены на площади около 150 тыс. км², в пределах которой отдельные месторождения в связи с проявленными здесь сложными тектоническими процессами характеризуются различным строением. В отличие от месторождений ГДР, приуроченных в основном к слабодислоцированным соляным толщам, слагающим мульдообразные впадины, и представленных пластовыми залежами, месторождения ФРГ локализуются преимущественно в сложнотектонических соляных толщах и представлены солянокупольными структурами (рис. 59). Кровли их находятся вблизи поверхности земли (первые десятки метров), что в значительной мере снижает трудности их отработки, обусловленные весьма сложной морфологией рудных залежей.

Наиболее крупным кайнозойским месторождением является Эльзасское во Франции, приуроченное к отложениям среднего олигоцена. Соленосная толща залегает на глубине 200—800 м и заключает 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, из которых наибольший промышленный интерес представляет нижний или главный горизонт. Он состоит из трех калийных пластов мощностью 0,7 м, 1,7 м и 2 м, разделенных тонкими прослоями (0,2 м) доломитового мергеля. Нижний и средний пласты состоят из прослоев розового и красного сильвинита и каменной соли. Верхний пласт представлен тонким чередованием сильвинита с каменной солью и глинистыми прослоями. Местами в нем также выделяется прослой карналлита. Содержание окиси калия достигает 20—26%. В добытых рудах среднее содержание окиси калия составляло 17%. Продолжением Эльзасского месторождения служат соленосные отложения района Бадена в ФРГ. Здесь установлено два пласта преимущественно сильвинитового состава, приуроченные к среднему олигоцену.

Помимо отмеченных выше месторождений ФРГ, приуроченных к сложнодислоцированным соляным толщам, к этому промышленному типу относятся все месторождения сульфатно-хлоридных и сульфатных калийных солей. В Советском Союзе их характерным представителем являются Прикарпатские месторождения, расположенные 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 ее постепенное выклинивание или замещение гипсово-ангидритовой породой) до 400—500 м в центральных и западных частях. Залежи калийных солей линзообразной формы, местами сложнодислоцированные, прослеживаются на протяжении от нескольких сотен до 2—3 тыс. м при крайне изменчивой мощности (от почти полного выклинивания до раздувов, достигающих десятки, нередко и более сотни метров). Глубина их залегания колеблется от 20 до 1000 м и более.

На Домбровском участке Калуш-Голынского месторождения пологое залегание залежей на глубине 20—150 м позволило организовать в опытно-промышленных масштабах их отработку открытым способом. Соли Предкарпатских месторождений отличаются весьма сложным минеральным составом. Основными калийными минералами являются сильвин, карналлит, каинит, лангбейнит, пикромерит (шенит) и полигалит. Среди промышленных типов солей выделяются сильвинитовая, каинитовая, твердая каинит-лангбейнитовая и лангбейнитовая разновидности. Соли Стебникского месторождения почти целиком представлены сернокислыми разновидностями. В Калуш-Голыньском месторождении преобладают сильвинитовые соли.

Характерно весьма неравномерное распределение полезных компонентов. Обогащенные участки часто сменяются слоями галенита и различных терригенных образований. Сближенные залежи образуют продуктивные зоны, мощность которых достигает 100—200 м. Содержание K_2O обычно не превышает 10%, редко достигает 11—12%.

В Предкарпатском бассейне разведано одиннадцать месторождений, суммарные балансовые запасы которых составляют 2,9 млрд. т сырых солей (0,3 млрд. т K_2O).

Основные параметры
морфогенетических типов разрабатываемых месторождений калийных солей

Морфогенетический тип месторождений	Разведанные запасы отдельных бассейнов, млн. т K_2O	Содержание K_2O , %	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Головая производительность горнообогатительного предприятия, млн. т K_2O
			открытой	подземной	в разведанных запасах		в добыче		
					в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	
Пластовые, преимущественно пологозалегающие хлоридные соли, приуроченные к слабодислоцированным соляным толщам	300—11 000	14—25	—	1000 (горный способ) 2000 (подземное выщелачивание)	95	96		86,9	0,3—2,6
Линзообразные залежи, приуроченные к различным интенсивно дислоцированным соляным структурам									
а) хлоридные соли	70—700	11—30	—	То же	0,3	2,8	—	8	До 0,3
б) хлоридно-сульфатные соли	30—200	9—12	—	„	4,7	1,5	9	4	До 0,8
Соляные источники						0,2	—	0,1	До 0,1
Современные моря и океаны					Свед. нет	1,5	—	1	До 0,1

К хлоридно-сульфатному типу относится также Жилианское 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.

За рубежом богатейшими сульфатными солями характеризуется месторождение в Сицилии. Оно включает две промышленные залежи каинитовых пород средней мощностью соответственно 4 и 30 м при среднем содержании 17 и 13%; часть богатой руды, содержащей 17% K_2O , используется в качестве удобрения без предварительного обогащения.

Источниками добычи калия являются воды Мертвого моря (Иордания, Израиль), а также соленосные отложения и рассолы озер Сёрлс и Боневиль в США. Среднее содержание солей в рассолах Мертвого моря составляет 24,5%, из них 9,1% приходится на хлористый магний, 8,5% на хлористый натрий, 3,5% — на хлористый кальций и 1,4% на хлористый калий. Длина Мертвого моря достигает 76 км, ширина 16 км, а поверхность его около 1000 км². Максимальная глубина моря составляет 390 м при средней глубине 146 м. Уровень моря на 390 м ниже уровня океана. Общие запасы солей в Мертвом море оцениваются (в т): $NaCl$ 10×10^9 , KCl $1,5 \times 10^9$, $CaCl_2$ $6-7 \times 10^9$ и $MgBr_2$ 1×10^9 . Разработана технологическая схема получения из сырой соли, состоящей на 80% из карналлита и 20% из галита, продукта, содержащего 62% KCl .

Соленосные отложения и рассолы озера Серлс, представляющие остаток древнего бессточного бассейна, обладают разнообразным составом, и из них наряду с калием извлекаются соли бора, бром, сульфат натрия, сода и литий. Добыча солей производится из рассолов, в которых, начиная от поверхности до глубины 4,5 м содержание KCl возрастает от 2,25 до 3,5%, с глубины 4,5 до 9 м оно составляет около 4% и от 9 до 21 м увеличивается до 5%. Озеро разрабатывается с 1926 г., обеспечивая производство годовой продукции стоимостью 500 млн. долл.

Промышленные концентрации хлористого калия в СССР установлены в донной рапе и глубинных рассолах озера Индер в Казахстане. Крупные ресурсы калийсодержащих рассолов заключены в заливе Кара-Богаз-Гол. Среди разведанных в мире месторождений калийных солей могут быть выделены два морфогенетических типа (табл. 14), составляющие основу калийной промышленности.

ПЛАВИКОВЫЙ ШПАТ

Формирование промышленных месторождений плавикового шпата происходило на протяжении всей истории развития Земли. Известны многочисленные проявления плавикового шпата докембрийского времени, но промышленные его концентрации этого возраста встречаются сравнительно редко. Это в первую очередь месторождения Южно-Африканской Республики, пространственно и генетически связанные с красными гранитами бушвелдского комплекса, а также флюоритсодержащие полиметаллические месторождения Намибии. К докембрию относится образование единственного в мире промышленного месторождения крио-

лита Ивигтут в южной части Гренландии, а также развитые здесь месторождения топаз-флюоритовых руд. Месторождения плавикового шпата палеозойского возраста особенно широко распространены в Советском Союзе, США, Канаде и странах Западной Европы. Мезозойский возраст имеют месторождения Китая, Монголии, КНДР и Южной Кореи, Таиланда и СССР (Забайкалье). Кайнозойские месторождения сосредоточены в странах западного полушария, преимущественно в Мексике и США.

Характерной чертой месторождений плавикового шпата, вне зависимости от возраста и географического размещения, является их приуроченность к зонам дизъюнктивных нарушений — крупным разломам и сопряженным с ними трещинам. Обычно месторождения расположены в интрузивных породах или в их экзоконтактах и лишь иногда они удалены от интрузий на значительные расстояния.

По минеральному составу среди собственно плавиковошпатовых месторождений различают кварц-флюоритовые, сульфидно-флюоритовые, карбонатно-флюоритовые, барит-флюоритовые, слюдисто-флюоритовые и топаз-флюоритовые разновидности. Наиболее широко распространены кварц-флюоритовые руды, представленные в основном плавиковым шпатом и различными модификациями кварца (кварц, халцедон, опал). Среди них нередко выделяются мономинеральные руды, в которых кварц присутствует лишь в качестве незначительной примеси. При переработке барит-флюоритовых и сульфидно-флюоритовых руд попутно с плавиковым шпатом получают концентраты барита, галенита, сфалерита при соответствующем их содержании в руде.

Текстуры руд и содержание в них фтористого кальция широко варьируют в пределах месторождений и даже отдельных рудных тел. Различаются массивные, кокардовые, брекчиевые, полосчатые, прожилково-вкрапленные руды, в которых отчетливо отражаются все последовательные стадии кристаллизации минеральных комплексов. В связи с достигнутыми успехами в обогащении руд в последнее время стали вовлекаться в переработку разности с содержанием 15% фтористого кальция.

Высококачественные руды, пригодные для получения металлургических сортов плавикового шпата, в зависимости от их качества подвергаются ручной рудоразборке или отсадке и разделению в тяжелых жидкостях. Для получения химических сортов плавикового шпата руды подвергаются флотационному обогащению. В последнее время успешно начато производство из флотационных концентратов окатышей для черной металлургии.

Преобладают мелкие (менее 200 тыс. т руды) и средние (от 200 до 1000 тыс. т) и сравнительно редки крупные месторождения (от 1000 до 3000 тыс. т и более).

По морфогенетическим особенностям выделяются два основных типа промышленных руд:

— жильные среди разнообразных интрузивных, эффузивных, метаморфических и осадочных пород;

— пластообразные и сложной формы метасоматические залежи преимущественно в карбонатных породах.

Более широко распространены *жильные месторождения*, которые обычно характеризуются и более высоким качеством руд и легкой их обогатимостью, но, за редким исключением, пригодны лишь для обработки подземным способом.

Количество жил отдельных месторождений достигает нескольких десятков, но, как правило, немногие из них (2—5) имеют промышленное значение. Протяженность жил составляет обычно первые сотни метров и сравнительно редко достигает первых тысяч метров. По падению (часто крутому) жилы прослеживаются на 100—500 м. Характерной особенностью подавляющего большинства жил, разведанных в мире, является их весьма сложная форма, обусловленная наличием частых пережимов, раздувов, апофиз и разнообразных ответвлений. Поэтому и мощность жил варьирует от 0 (в пережимах) до 45 м (в раздувах), составляя в среднем по месторождению 2—8 м.

Общие запасы плавленого шпата руд по разрабатываемым месторождениям обычно находятся в пределах 0,1—2,0 млн. т, мощность горнодобывающих предприятий 20—100 тыс. т.

Классическим районом распространения жильных месторождений плавленого шпата в СССР является Восточное Забайкалье. Разведанные здесь многочисленные месторождения приурочены к разнообразным интрузивным, преимущественно гранитоидным, эффузивным и осадочным терригенным породам, но вне зависимости от характера вмещающих образований отличаются сходными чертами.

Почти все они приурочены к крупным разломам и оперяющим 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. Мощность жил подвержена резким колебаниям от тонких пережимов до раздувов в несколько десятков метров. Средние мощности промышленных рудных тел обычно составляют 0,6—2 м. Руды представлены в основном флюоритом (часто крупнокристаллическим, пригодным для ручной рудоразборки, и кварцем). В качестве ничтожной примеси присутствуют кальцит, барит, адуляр, каолинит, цеолиты и очень редко сульфиды.

Забайкальские месторождения являются основными поставщиками в стране металлургических сортов плавленого шпата. Наиболее интересным является Калангуйское месторождение, рудоносная жила которого приурочена к зоне разлома в песчаниках и глинистых сланцах нижне- и среднеюрского возраста, прослеженной на протяжении более 1000 м при мощности от 0,5 до 15—20 м. Пережимом длиной в 170 м жила разделена на два крыла длиной 250 и 700 м. На глубину жила прослежена до 400—500 м. Примерно до глубины 150 м среднее содержание в рудах фтористого кальция составляет 73—81%, а в более глубоких горизонтах 62—63%. Снимается содержание флюорита и соответственно увеличивается — пирита и марказита. Кварц и каолинит имеют подчиненное значение. Месторождение разрабатывается более 45 лет. Начальные запасы руд месторождения оцениваются в 3 млн. т.

К редким жильным месторождениям, разрабатываемым открытым способом, относится Солонечное месторождение, приуроченное к зоне разлома, в пределах которой граниты интенсивно разбиты мелкими трещинами, каолинизированы, окварцованы и флюоритизированы. Оруденение проявлено в форме жилы длиной 720 м при мощности от 6 до 44,5 м, а также апофизы и двух менее крупных (до 6 м мощности) жил. Кроме флюорита руды содержат кварц и халцедон и в незначительном количестве адуляр. Руды массивно-кристаллические и брекчи-

рованые, в которых содержание фтористого кальция колеблется от 37 до 70%, в среднем 49%.

В Средней Азии представителем жильного типа является Такобское месторождение. Оруденение проявлено в форме крутопадающей жилы в герцинских гранитах и характеризуется резко выраженным полосчатым строением. Центральная часть жилы сложена флюоритом и кварцем, в небольшом количестве присутствуют кальцит, галенит, сфалерит, каламин, смитсонит, церуссит. Всячий бок сложен рудной брекчией, состоящей из обломков плавикового шпата, каолинизированных гранитов, зерен галенита, сцементированных мелкозернистым агрегатом кварца и плавикового шпата. В лежащем боку жилы граниты интенсивно оплакированы и в них присутствует тот же состав минералов, кроме кальцита.

К жильному типу в зарубежных странах Азии относятся месторождения богатых руд Монголии, Китая, КНДР и Южной Кореи и сравнительно недавно разведанные месторождения Таиланда.

Широко распространены жильные месторождения плавикового шпата в Западной Европе. В 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 Тюрингии, где он иногда является главным рудообразующим минералом. Наряду с типичными жильными месторождениями встречаются 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 присутствуют в небольшом количестве кварц, сидерит и халькопирит. Наиболее крупные месторождения сосредоточены в северо-западной части Баварии, где жилы плавикового шпата залегают среди гранитов вблизи контакта их с пермскими отложениями и локализируются 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 колеблется от 50 до 70%. В ряде месторождений плавиковый шпат сопровождается баритом, с которым часто ассоциирует полиметаллическая минерализация. В некоторых жилах установлено присутствие урановых минералов — стунита и торбернита.

Основные месторождения Франции отличаются небольшими размерами, но высоким качеством руд. Для них характерно 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. Ряд месторождений характеризуется высоким содержанием барита, достигающим 20%. Иногда в них встречаются хорошо выраженные кристаллы оптического флюорита.

Месторождения жильного типа Великобритании приурочены к тектоническим трещинам в толще перемежающихся песчаников, сланцев и известняков каменноугольного возраста. Некоторые жилы отличаются большими размерами и прослеживаются по простиранию на несколько километров при мощности до 4 м. Кроме флюорита руды содержат в переменных количествах барит, кальцит, кварц и в промышленных концентрациях галенит и реже сфалерит. С глубиной барит и кальцит замещают флюорит и почти нацело слагают глубокие горизонты.

В Италии по масштабу оруденения выделяется месторождение Торгола, представленное жилой длиной до 1000 м при средней мощности 8 м. Она сложена флюоритом, кварцем, кальцитом и содержит в промышленных концентрациях галенит, сфалерит и серебро, для извлечения которых началась ее разработка. В настоящее время основной продукцией рудника является флотационный флюоритовый концентрат, содержащий 97% фтористого кальция. Руды перерабатываются на трех обогатительных фабриках суммарной мощностью 120 тыс. т. Годовой выпуск концентрата составляет 80 тыс. т и попутно извлекается 300 т сфалерита, 150 т галенита и 450 кг серебра. Жильные месторождения плавикового шпата разрабатываются в ряде районов Испании.

Крупный район распространения жильных месторождений находится в пределах рудной провинции долины Миссисипи в США. Основная промышленная минерализация приурочена к хорошо выраженным крупным сбросам и связанным с ними более мелким дизъюнктивным нарушениям и зонам трещиноватости и брекчирования в горизонтально залегающих нижнекаменноугольных известняках, песчаниках и сланцах. Большая часть месторождений отличается сравнительно небольшими размерами, но в целом общие ресурсы их оцениваются в несколько миллионов тонн. Состав руд 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 рудоразборки 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.

Жильные месторождения плавикового шпата широко распространены в Канаде, известны в Аргентине и Бразилии, а также в ряде стран Африки — Марокко, Тунисе, Мозамбике, Южно-Африканской Республике и Родезии.

Метасоматические месторождения плавикового шпата в отличие от жильных менее широко распространены, но обычно характеризуются более крупными масштабами оруденения. Пластовые и пластообразные залежи стратиформного типа встречаются сравнительно редко. Преобладают залежи сложной формы и весьма разнообразных размеров — линзообразные, трубообразные, столбообразные, гнездообразные, реже седловидные (рис. 60). Протяженность, ширина и глубина крупных залежей обычно измеряются первыми сотнями метров. В разрабатываемых месторождениях развиты одна или несколько таких залежей,

иногда наряду с большим количеством мелких рудных тел. Запасы руд отдельных месторождений варьируют от сотен тысяч до миллионов тонн (редко до 10 млн. т и более).

Помимо мономинеральных типов руд, характерных для жильных месторождений, в метасоматических месторождениях широко распространены силикатно-флюоритовые (слюдисто- и топаз-флюоритовые) и карбонатно-флюоритовые (доломит-кальцит-флюоритовые). Содержание фтористого кальция, как и в жильных месторождениях, изменяется в широких пределах. Реже развиты крупнокристаллические разности руд, пригодные после простейшей рудоразборки или отсадки тяжелыми жидкостями для использования в металлургии. Преобладают плотные тонкозернистые разности, обогащаемые флотационным методом для получения концентратов химических сортов. Более трудно обогащаются силикатно-флюоритовые и карбонатно-флюоритовые руды. На базе месторождений метасоматических руд действуют горнообогатительные предприятия годовой производительностью от 60 до 300 тыс. т руды. Добыча производится преимущественно открытым способом. Разведанные запасы отдельных месторождений позволяют довести годовую добычу руды до 500—800 тыс. т.

В последние годы разведанные запасы метасоматических руд резко возросли за счет открытия в ряде стран крупных месторождений этого типа.

В США характерным представителем месторождений метасоматических стратиформных залежей руд является Кейв-ин-Рок, расположенное в долине Миссисипи, где оно связано с крупным разломом. Это, по-видимому, одно из наиболее крупных в мире месторождений плавикового шпата. Продуктивные залежи пластообразной формы приурочены к нескольким стратиграфическим горизонтам известняков общей мощностью 60—70 м и сосредоточены в пределах полосы протяженностью около 8000 м, по падению прослеживающейся на 1300—2000 м. Часто встречаются параллельнополосчатые структуры рудных залежей. Длина разрабатываемых залежей колеблется от 60 до 450 м, ширина от 15 до 60 м, мощность от 0,9 до 4,5 м. Плавиковый шпат замещает известняк и цементирует известковую брекчию. Руды обычно содержат кальцит, барит, кварц, галенит, сфалерит, марказит. Среднее содержание плавикового шпата в рудах составляет 50—60%, иногда достигает 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 образован-

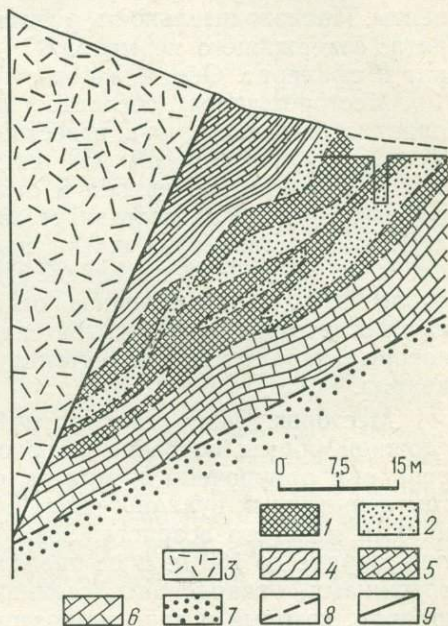


Рис. 60. Разрез месторождения Спар-Валли (США).

1 — высокосортный плавиковый шпат; 2 — низкосортный плавиковый шпат; 3 — риолиты (трещинные); 4 — сланцы; 5 — известняки; 6 — темные известняки; 7 — песчаники (нижний мел); 8 — сбросы послерудные; 9 — сбросы дорудные

ные кубические кристаллы которого встречаются на стенках пустот в брекчиях.

К юрским известнякам приурочены пластообразные залежи плавиковошпатовых руд месторождения Хаммал-Зриба в Тунисе. Оруденение прослежено по простиранию пласта более чем на 3 км и ограничивается сбросом. Протяженность разрабатываемых залежей составляет 20—60 м при мощности 1—2 м. Среднее содержание в них флюорита 32—35%, барита и целестина около 50%, сфалерита — первые проценты. Производительность рудника составляет около 30 тыс. т концентрата, содержащего не менее 97% флюорита. Попутно получают барит и сфалерит. Общие запасы руд оцениваются в 5 млн. т.

Месторождения согласно залегающих пластообразных залежей плавиковошпатовых руд известны в Намибии, где они приурочены к метаморфическим породам системы дамара (докембрий). Руды состоят из флюорита, кварца и апатита и включают тонкие прослои гематита. Ширина их составляет 30—50 м при длине 300 м и более. Содержание плавикового шпата в руде в разведанных участках колеблется от 70 до 90% (в среднем 60%), кремнезема до 20% и апатита около 10%. Промышленное освоение месторождения задерживается из-за отсутствия эффективной схемы технологического обогащения руд, которые характеризуются тесным проращением плавикового шпата и кварца.

Месторождения метасоматических руд, представленных залежами сложной формы, особенно широко развиты в Мексике. В штате Герреро они приурочены к минерализованной тектонической зоне в контакте третичных вулканогенных образований и конгломератов с известняками мелового возраста. Зона прослежена по простиранию на 8 км при ширине до 160 м. В ее пределах породы разбиты многочисленными трещинами, окварцованы, серицитизированы и замещены плавиковым шпатом, который в виде тонкозернистого агрегата, часто в тесном проращении с кварцем, образует скопления различной формы и размеров как среди риолитов, так и среди известняков.

По размерам запасов плавиковошпатовых руд, которые оцениваются в 1 млн. т, выделяется участок Азуль. Скопления плавикового шпата иногда приурочены здесь к впадинам в известняках, выполненным вулканическим пеплом. Для месторождения характерно присутствие в сравнительно больших количествах геарксутита $[\text{CaF}_2 \cdot \text{Al}(\text{F}, \text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, образующего отдельные скопления псевдоморфозы по флюориту, преимущественно в риолитах. Руды месторождения отличаются хорошим качеством и около половины подсчитанных запасов относятся к разностям с содержанием фтористого кальция более 85%. На другом участке (Гавилан) флюорит имеет натечные формы и образует скопления в смеси с глинистым веществом.

В штате Коуаила оруденение локализовано в контакте сланцев и известняков мелового возраста и в известняках в местах их переслаивания 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, по падению они прослеживаются до 20 м. Преобладают крупнокристаллические руды, содержащие 70—90% фтористого кальция; общие запасы их оцениваются в 6 млн. т.

К известнякам триаса приурочено месторождение Пеглио Пеньолина в Италии. Линзообразные и гнездообразные залежи с глубиной переходят в крутопадающие жилообразные тела. Содержание фтористого кальция в рудах составляет 50—55%. В них также присутствуют минералы цинка (гидроцинкит, каламин), иногда свинца и редко карбонаты меди. Действующее на базе месторождения горнообогатительное предприятие выпускает в год около 30 тыс. т металлургического концентрата, содержащего 80—90% фтористого кальция, а также более богатого (98%) флотационного концентрата.

Месторождения этого типа широко распространены в Советском Союзе. Удельный вес их в общесоюзных балансовых запасах плавиково-вошпатовых руд в последние годы заметно возрос (до 65%), и, судя по оценке прогнозных запасов, эта тенденция сохранится и в ближайшем будущем. По масштабу минерализации выделяется Вознесенское месторождение в Приморском крае, генетически связанное с палеозойскими аляскиотовыми калиевыми гранитами. 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 турмалин, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, арсенипирит, кварц, топаз, рутил, касситерит и апатит. Выделяются два основных технологических типа руд: силикатно-флюоритовый и кальцит-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 топаз-флюоритовые руды. По текстурным признакам выделяются массивные, брекчиевидные, сетчатые и очковые руды. Они обогащаются флотационным способом.

Крупные ресурсы плавикового шпата, связанные с метасоматическим типом руд, выявлены в Казахстане. На месторождении Солнечном (Центральный Казахстан) 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 топаз-флюоритовыми и слюдисто-флюоритовыми разностями. В рудах присутствуют также пирит, халькопирит, рутил, касситерит и др. Текстура топаз-флюоритовых руд массивная, реже полосчатая, 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. Балансовые запасы руд составляют 453 млн. т. По предварительным расчетам, на базе месторождения может быть создано предприятие производительностью 90 тыс. т фтористого кальция в концентрате при 126 руб. удельных капиталовложений на 1 т его содержания в концентрате и 0,62 руб. затрат на 1 руб. товарной продукции.

Широкое развитие метасоматических руд плавикового шпата установлено в Таскайнарском районе Южного Казахстана. По данным Н. Т. Тукунова и Б. И. Юнусова, основное оруденение на разведваемом

месторождении Южный Таскайнар локализовано в межформационных брекчиях, состоящих из слабоокатанных обломков среднеордовикских известняков, сцементированных песчаниками нижнего карбона. Главная рудная залежь плащеобразной формы расположена на глубине 40 м, нижняя — опускается до глубины 250 м. Мощность наиболее выдержанной центральной ее части составляет 13,2 м. Содержание в руде флюорита колеблется от 0 до 78% (в среднем 30%), кварца от 2,3 до 76%,

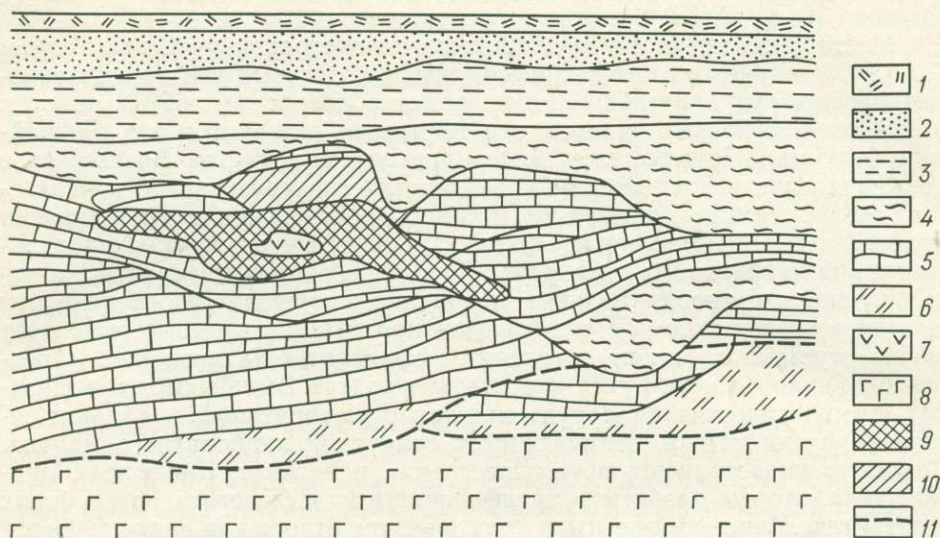


Рис. 61. Геологический разрез Покрово-Киреевского месторождения. По А. М. Стрёмовскому.

1 — суглинки, 2 — пески (неоген), 3 — песчаники (верхний мел); 4 — глины (нижний мел); 5 — известняки (турнейский ярус); 6 — ортофиры (верхний девон); 7 — апоандезиты; 8 — измененные базальтоиды (верхний девон); 9 — карбонатно-флюоритовые руды; 10 — делювиальные флюоритовые руды; 11 — надвиг

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, длина по падению до 120 м. Запасы пяти наиболее крупных жил составляют 0,5 млн. т при среднем содержании флюорита 26,8%. Генетическое оруденение Таскайнарского района связывается с субщелочными гранитоидами узунсу-карасуйского комплекса.

В Средней Азии характерным представителем (метасоматического) типа руд является 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

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений плавикового шпата

Морфогенетический тип месторождений	Содержание CaF_2 , %	Разведанные запасы отдельных месторождений, млн. т руды	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горнообогатительных предприятий, тыс. т руды	
			открытой	подземной	в разведанных запасах		в добыче		при добыче открытым способом	при добыче подземным способом
					в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах		
Жилы и линзообразные тела кварц-флюоритовых, сульфидно-флюоритовых и барит-флюоритовых руд среди разнообразных интрузивных, эффузивных метаморфических пород	30—75	0,1—2,0	100	450	35	65	60	82	20—50	10—150
Стратиформные, пластинчатые и сложной формы метасоматические залежи кварц-флюоритовых, карбонатно-флюоритовых и силикатно-флюоритовых руд преимущественно в карбонатных породах	30—70	0,2—6,0	150	300	65	35	40	18	60—300	20—150

постоянно присутствуют в качестве примеси сфалерит, галенит, пирит, халькопирит, антимонит, блеклая сурьмяная руда.

На Украине к типу метасоматических месторождений относится Покрово-Киреевское (рис. 61), 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-полевошпат-флюоритовыми рудами. Длина ее 250 м, ширина в плане 70—180 м, мощность от 4,4 до 70 м. Богатые руды, представленные карбонатно-флюоритовыми разностями, развиты 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 составляет 73,5—92,6%. Удельные затраты на разведку запасов категорий А+В+С₁ составили 0,6 руб.

На месторождении может быть создано горнообогатительное предприятие производительностью 65 тыс. т фтористого кальция в концентрате при 217 руб. удельных затрат на 1 т содержания его в концентрате и 0,66 руб. затрат на 1 руб. товарной продукции.

Кроме самостоятельных месторождений, где плавиковый шпат является главным рудообразующим минералом, широко распространены также месторождения, в рудах которых он присутствует в количестве, позволяющем рентабельно извлекать его попутно с основными компонентами. Такими концентрациями флюоритового оруденения характеризуются *полиметаллические, сурьмяно-ртутные, вольфрамовые, молибденовые и оловянные руды* многих месторождений. В Намибии, например, плавиковый шпат почти повсеместно развит в полиметаллических рудах, в которых среднее содержание его (на месторождении Цумеб) достигает 25%, а разведанные запасы превышают 1 млн. т.

Основу плавиковой промышленности составляют два описанных выше главных морфогенетических типа месторождений плавикового шпата (табл. 15).

ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ

Большинство месторождений хризотил-асбеста связано с массивами гипербазитов, обычно приуроченных к глубоким протяженным разломам и сопряженным с ними локальным тектоническим нарушениям. В зависимости от характера проявленного оруденения, морфологии и условий залегания продуктивных залежей представляется целесообразным выделить три типа промышленных месторождений:

— крупные линзо- и эллипсообразные залежи в различной степени серпентинизированных массивных гипербазитовых породах, представленные поперечноволоконистым хризотил-асбестом;

— морфологически сложные залежи в полностью серпентинизированных рассланцованных гипербазитовых породах, представленные косо- и продольноволокнистым асбестом;

— пластообразные и жилообразные залежи (секущие или согласные с напластованием) серпентинитов с поперечноволоконистым хризотил-асбестом среди доломитизированных известняков.

Примерно 97% мировых запасов хризотил-асбеста и около 100% запасов Советского Союза заключены в месторождениях первого типа — крупных линзо-жилообразных залежах в массивах гипербазитовых пород в основном палеозойского возраста; такой же удельный вес они занимают в мировой добыче и производстве асбестовой продукции.

Масштабы промышленной минерализации, а также содержание волокна в рудах отдельных месторождений широко варьируют (площадь — от 0,5 до 1000 км², глубина — от 20 до 1000 м, содержание — от 1 до 12%), соответственно характерны резкие колебания размеров запасов асбеста (от 0,5 до 30 млн. т) и годовой производительности горнообогатительных предприятий (от 5 до 1000 тыс. т и более товарного волокна).

Наиболее характерным и крупным представителем этого типа является Баженовское месторождение в СССР, расположенное на восточном склоне Урала и приуроченное к поздневизейским ультраосновным породам, представленным в различной степени серпентинизированными перидотитами и пироксенитами, прорванными гранитным массивом (рис. 62). Наиболее интенсивно серпентинизация проявилась вдоль мощных зон разломов, к которым приурочены диорит-аплиты и дайки кислых пород, тальково-карбонатные породы, а также промышленные залежи хризотил-асбеста. Последние представляют собой участки серпентинитовых пород, пронизанных жилами асбеста мелкопрожилкового и сетчатого типов.

Закономерной особенностью является 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.

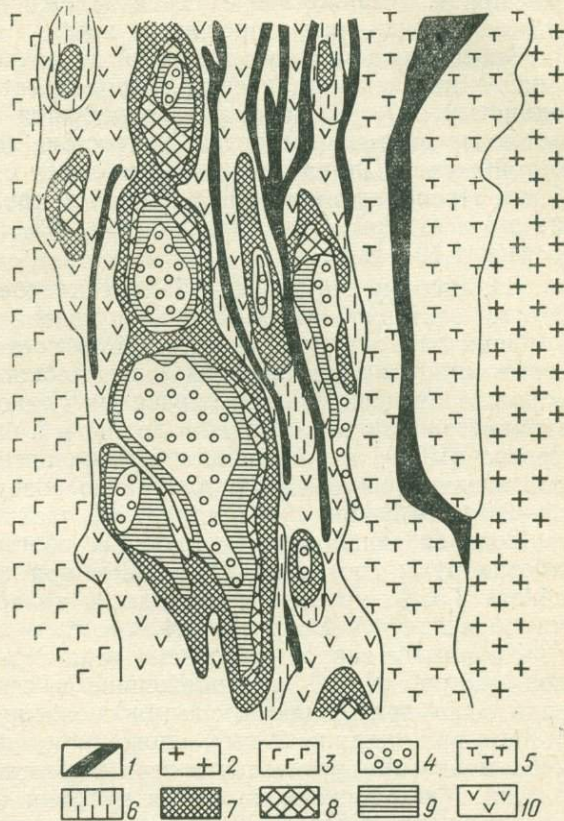


Рис. 62. Схематическая геологическая карта центральной части Баженовского месторождения.

1 — дайки диорит-аплитов; 2 — граниты; 3 — габбро; 4 — перидотиты; 5 — тальковые породы; 6 — серпентиниты с просечками асбеста; 7 — серпентиниты с асбестом типа мелкой сетки и мелкопрожила; 8 — серпентиниты с асбестом типа крупной сетки; 9 — перидотиты с отороченными жилами асбеста; 10 — серпентиниты массивные и расслабленные

Выявлено более 24 промышленных залежей асбеста линзообразной и штокообразной формы, размеры которых колеблются в широких пределах. Длина их достигает нескольких тысяч метров при ширине, нередко превышающей сотни метров. В ряде залежей промышленная минерализация продолжается до глубины 1200 м. В отдельных залежах выделяются зоны отороченных жил, крупной сетки, мелкой сетки, мелкопрожила, просечек и единичных жил, последовательно сменяющих друг друга, а также встречаются залежи или части залежей, где развита одна лишь зона отороченных жил.

Асбест представлен в основном поперечноволоконистыми разновидностями, в незначительных количествах продольноволокнистыми. Поперечноволоконистый асбест обычно характеризуется высокой механической прочностью на разрыв, мягкостью, тонкостью, эластичностью и высокой жаростойкостью. Длина волокна колеблется от долей миллиметра до 20—25 мм. Преобладает асбест с длиной волокна от 1 до 10 мм. Содержание его в рудной массе составляет 3—8%, нередко в богатых участках достигает 10—12%.

Балансовые запасы I—VI сортов асбестового волокна на начало 1975 г. составили 71,4 млн. т, а годовая добыча достигла 2 млн. т. В общих запасах доля I—III сортов составляет 2%, IV сорта — 4%. Кроме того, имеется более 60 млн. т асбеста VII сорта. Разработка месторождения производится карьерами длиной по поверхности до 1600 м, шириной до 1000 м и глубиной до 100 м и более. По данным Н. Д. Меркурьева (1970), в дальнейшем предполагается объединение всех карьеров в один общий карьер длиной по поверхности 10,3 км, шириной — 1,5—2,0 км и глубиной в центральной части до 680 м.

Годовая мощность действующих обогатительных фабрик по переработке руды составляет 17 млн. т при среднем содержании в руде асбеста 3,53%, уровень производства товарных сортов (I—VI) превысил 1,1 млн. т и VII сорта — 0,4 млн. т.

Крупными запасами асбеста характеризуется также Джетыгаринское месторождение, расположенное в северо-западной части Казахстана. Оно приурочено к ультраосновному массиву (протяженностью 11,3 км при ширине 3 км), сложенному перидотитами типа гарцбургитов и апогарцбургитовыми серпентинитами антигорит-хризотилового состава. Ультраосновной массив прорван крупными телами гранодиоритов и небольшими штоками гранодиорит-порфиров, с которыми генетически связывается промышленная асбестоносность и образование тальковых сланцев и талько-карбонатных пород. Разведано четыре залежи, из которых наиболее крупная прослежена в длину на 3,2 км при мощности 30—90 м в северной 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 сетчатый и просечек. Преобладает поперечноволоконистый хризотил-асбест, реже встречаются продольноволокнистые разновидности. 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 асбеста находится в пределах 3,25—3,75%.

Значительные запасы асбеста сосредоточены на Киембаевском месторождении в Оренбургской области, приуроченном к одноименному массиву ультрабазитов. Здесь выделяется ряд крутопадающих асбесто-

носных залежей, протяженностью от 200 до 1850 м при мощности от 50 до 700 м. Промышленная минерализация прослежена буровыми скважинами до глубины более 800 м. Как и на Джетыгаринском месторождении, преобладает асбест V—VI сортов, среднее содержание которого в рудах составляет 4,6%. Общие запасы асбестового волокна составляют 31 млн. т, в том числе разведанные — 25 млн. т.

Актовракское месторождение в Тувинской АССР приурочено к одноименному ультраосновному массиву, залегающему среди нижнекембрийских осадочно-эффузивных образований. Массив прослежен в длину на 3800 м при ширине 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 усложнено 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 месторождение Молодежное, расположенное в Бурятской АССР (рис. 63). Оно приурочено к серпентинизированному гипербазитовому массиву, прорывающему толщу протерозойских метаморфических пород. Асбестоносная залежь прослежена в длину на 740 м при ширине от 273 до 638 м и глубине до 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 составляет 9,85%, из них 20% текстильных сортов. Общие запасы асбеста составляют 14,4 млн. т.

Другие наиболее крупные месторождения хризотил-асбеста рассматриваемого типа расположены в восточных провинциях Канады, где они связаны с обширным поясом (протяженностью 160 км) серпентинизированных ультраосновных пород, который частично продолжается на территории США (рис. 64). В его пределах залежи хризотил-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 число находятся в прямой зависимости от мощности серпентинизированной зоны. В ряде разрабатываемых залежей на 1 м серпентинитов приходится до 100 прожилков асбеста. Обычная мощность их не превышает 1—2 см, иногда достигает 10 см. Преобладает поперечно-волоконистый хризотил-асбест бледно-зеленого цвета, весьма высокого качества. В Канаде отдельные зоны продуктивной асбестоносности характеризуются крупными размерами. Протяженность их превышает тысячу метров при ширине в сотни метров. Содержание в рудах асбестового волокна колеблется в широких пределах — от 2—3 до 10%. Выход текстильного волокна обычно не превышает 6—7%.

По масштабу оруденения и выпуску товарной продукции выделяются месторождения Джеффри и Блэк Лейк, расположенные в провинции Квебек. В рудах месторождения Джеффри содержание волокна колеблется от 3 до 10%, составляя в среднем около 8%. При его

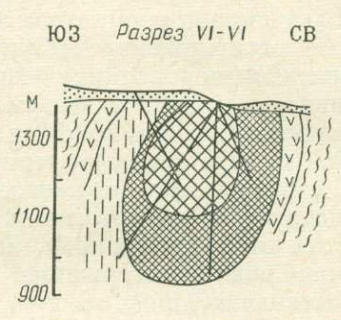
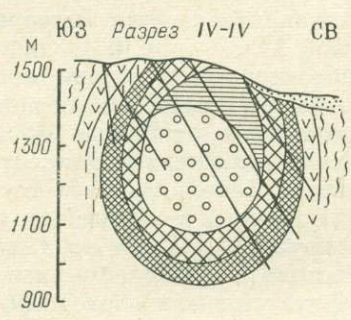
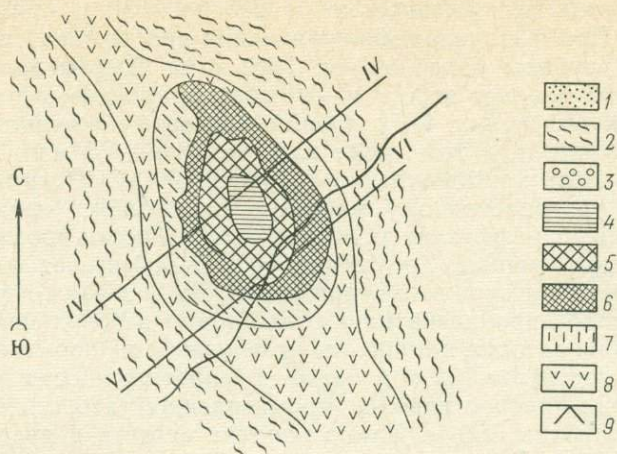


Рис. 63. Схематическая геологическая карта Молодежного месторождения.

1 — делювиальные отложения; 2 — метаморфические сланцы; 3 — перидотиты и дуниты; 4 — перидотиты с отороченными жилами асбеста; 5 — серпентиниты с крупной сеткой жил асбеста; 6 — серпентиниты с мелкой сеткой жил асбеста; 7 — серпентиниты с просечками асбеста; 8 — рассланцованные серпентиниты; 9 — буровые скважины

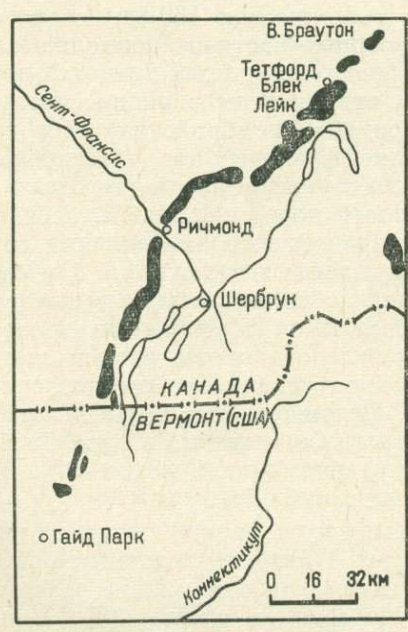


Рис. 64. Схема размещения асбестовых месторождений на юго-востоке Канады и в штате Вермонт, США. По Э. Лиллеку

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 обеспечивает более половины всего производства товарного асбеста в Канаде (свыше 600 тыс. т).

На месторождении Блэк Лейк залежи асбеста залегают на дне одноименного озера, длина которого составляет 3,2 км при ширине 0,8 км. Минерализация проявлена здесь в форме простых отороченных жил хризотил-асбеста поперечноволокнистого строения. Средняя мощность жил составляет 50 мм. Запасы руды оцениваются в 38,5 млн. т при среднем содержании волокна 8,36%. Месторождение разрабатывается открытым способом, и созданная на его базе обогатительная фабрика выпускает более 100 тыс. т товарного асбеста. При подготовке месторождения к эксплуатации озеро осушено и вынута более 20 млн. м³ грунта.

По качеству руд особенно выделяется месторождение Кассиар, расположенное на высоте 1828 м, в 550 км от ближайшей железной дороги. Разведанные запасы асбеста составляют 3 млн. т при среднем его содержании 9,5% и весьма высоком удельном весе текстильных сортов.

Хорошим качеством руд и высоким выходом текстильных сортов (около 30%) отличается также месторождение Шабани в Родезии, приуроченное к серпентинитам архейского дунитового массива протяженностью 16 км при ширине 1,5—3,5 км (рис. 65). На контакте с более молодыми гранитами дунит превращен в серпентинитовые, актинолитовые, тальковые и тальк-карбонатные породы. Наиболее богатая асбестовая зона серпентинизированных пород прослеживается вдоль контакта на 4,5 км, в ширину — до 200 м, на глубину — до 180 м. Она включает 15 пологопадающих залежей с промышленной концентрацией хризотил-асбеста в густой сети отороченных или сетчатого типа жил. В лежачем боку продуктивных залежей асбест обычно оталькован, ниже располагаются тальк-карбонатные породы, непосредственно залегающие на контакте с гранитами. Длина залежей колеблется до 650 м при мощности от 15 до 90 м и длине волокна — не более 7,5 см. Добывается руда с содержанием волокна не ниже 1%.

С докембрийским магматизмом связаны также месторождения хризотил-асбеста Южно-Африканской Республики, расположенные в восточной части Трансвааля, где они приурочены к поясу серпентинизированных ультраосновных пород длиной 80 км при ширине

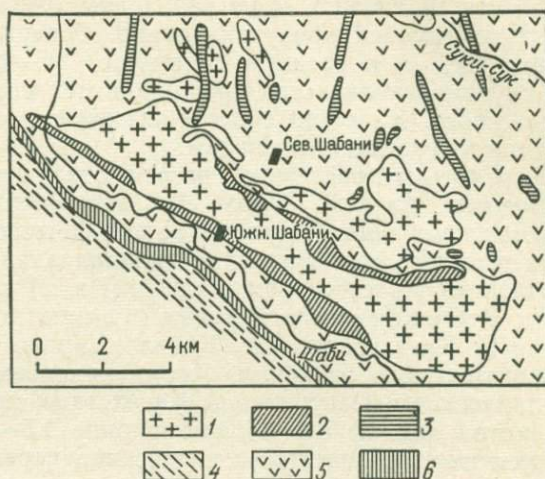


Рис. 65. Геологическая карта месторождения асбеста Шабани (Родезия).

1 — дуниты и змеевиксы; 2 — тальковые и тальк-карбонатные породы; 3 — дайки кварца; 4 — тальковые и хлоритовые сланцы; 5 — граниты; 6 — кремнистые породы

до 4 км. Промышленная асбестоносность концентрируется в пределах двух зон сравнительно небольшой мощности (3—4,5 м и 1,5—2,1 м), прослеженных по простиранию на 700 и 150 м и на глубину (по вертикали) до 250 м от поверхности. Зоны густо насыщены параллельными прожилками преимущественно поперечноволоконнистого асбеста; 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% и в среднем составляет 15—25%. Характерно уменьшение с глубиной количества прожилков при соответствующем увеличении их мощности. Качество асбеста высокое, и значительная его часть относится к текстильным сортам.

Сравнительно редко встречаются месторождения второго типа — *сложных залежей косо- и продольноволокнистого хризотил-асбеста в массивах гипербазитовых пород*. Обычно они отличаются небольшими масштабами промышленной минерализации (десятки и сотни тысяч тонн волокна) и отсутствием высших (I и II) сортов асбеста.

В Советском Союзе к ним относятся несколько месторождений в Казахстане, на Кавказе, Урале и Средней Азии, не имеющих практического значения. Месторождением этого типа является Ешкеульмесское в Центральном Казахстане, приуроченное к массиву пироксенитов длиной 5,5 км при ширине 1,5—3,0 км. Асбестоносные антигоритовые серпентиниты интенсивно перемяты, расланцованы и часто брекчированы. Косо- и продольноволокнистый асбест проявляется в виде выполнений трещин или расплюснутых волокнистых масс, вытянутых вдоль заключающих их плоскостей скольжений или примазок и корок. Асбест иногда отличается большой длиной волокна (до 10—15, иногда 30—40 см), но в основном он находится в тесном сростании с немалитом и карбонатами и часто представлен ломким волокном. Запасы асбеста оцениваются в 10,3 млн. т при среднем содержании его в руде 1,53%. В связи с низким качеством волокна запасы отнесены к забалансовым. Более высоким качеством отличается развитый на отдельных участках поперечноволоконнистый асбест в виде мелкопрожила, сетчатых и сложных отороченных жил. Запасы его составляют 300—400 тыс. т.

В зарубежных странах, преимущественно в Канаде, США и ЮАР, разрабатывается ряд сравнительно небольших месторождений этого типа, но доля их в мировых запасах и добыче хризотил-асбеста не превышает 2%. Они приурочены к полностью серпентинизированным пироксенитам, интенсивно смятым и раздробленным, и представлены жилами продольноволокнистого асбеста, обычно низких сортов средней и достаточной прочности. На одном из месторождений ЮАР разведана асбестоносная зона средней шириной 33 м, густо насыщенная прожилками продольно- и поперечноволоконнистого хризотил-асбеста, почти целиком представленного текстильными сортами.

Относительно условий образования асбестоносных серпентинитов в месторождениях, связанных с гипербазитами, существуют различные взгляды. Одни исследователи считают, что процессы серпентинизации и асбестообразования являются автометаморфическими и связаны с воздействием гидротермальных растворов самой ультраосновной магмы. Другие предполагают, что залежи хризотил-асбеста обусловлены гидротермальными процессами, связанными с внедрением более молодых гранитных интрузий. Существует также точка зрения, согласно

Основные параметры морфогенетических типов разрабатываемых месторождений хризотил-асбеста

Морфогенетический тип месторождений	Содержание асбестового волокна, %	Разведанные запасы асбеста отдельных месторождений, млн. т	Глубина отработки, м		Удельный вес месторождений, %				Годовая производительность горнообогатительных предприятий, тыс. т асбеста
			открытой	подземной	в запасах		в добыче		
					в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	в СССР	в капиталистических и развивающихся странах	
Линзо- и эллипсообразные залежи в различной степени серпентинизированных массивных гипербазитовых породах, представленные поперечноволокнистым асбестом	2—12	0,5—30 и более	700	—	100	97	100	97	10—2000
Морфологически сложные залежи в полностью серпентинизированных расланцованных гипербазитовых породах, представленные косо- и продольноволокнистым асбестом	2—6	0,2—1,0	200	—	—	2	—	2	2—50
Пластовые и пластообразные залежи в метаморфизованных карбонатных породах, представленные поперечноволокнистым асбестом	1—3	0,05—0,1	100	—	—	1	—	1	0,5—1,5

которой изменение первичных ультраосновных пород происходило в два этапа. К первому этапу относится слабая серпентинизация пород в результате автометаморфизма, ко второму — более интенсивная серпентинизация и образование скоплений асбеста под влиянием постмагматического воздействия гранитных интрузий.

Весьма редки интересные в практическом отношении месторождения хризотил-асбеста, *связанные с доломитами и доломитизированными известняками*, хотя проявления этого типа минерализации известны во многих странах. Все они характеризуются небольшими размерами и представлены серпентинитами с асбестоносными жилами и прожилками протяженностью по простиранию и падению в десятки, реже сотни метров при мощности от 5—10 см до 50—60 см. При их групповом расположении образуются продуктивные зоны шириной до 2—3 м. Содержание поперечноволокнистого асбеста достигает 20—30%, а в пересчете на рудную массу при добыче оно снижается до 1—3%.

Большим достоинством асбеста этих месторождений является его «безжелезистость» — низкое содержание окислов железа, позволяющее использовать волокно для специальных целей. Поэтому, несмотря на незначительные размеры месторождений и пониженное содержание асбеста в рудах, отдельные месторождения в сравнительно ограниченных размерах эксплуатируются, а добытый асбест относится к стратегическому сырью.

Месторождения этого типа разрабатываются в США, ЮАР, КНР и Индии. В США к ним относится месторождение Сьерра-Анха, приуроченное к доломитизированным известнякам алгонкского возраста, интродуцированным силлами диабаза. Полосы серпентинитов содержат от 1 до 15 жилок поперечноволокнистого асбеста длиной до 10—20, иногда до 100 мм. Годовая добыча асбеста не превышает 1,5 тыс. т.

В ЮАР месторождение сложено также серпентинизированными докембрийскими доломитами, прорванными диабазовым силлом. Хризотил-асбест развивается в многочисленных, параллельных слоистости пород трещинах, образовавшихся в результате гидратаций. Волокна асбеста расположены перпендикулярно к плоскостям трещин. Прожилки группируются в отдельные продуктивные залежи, обычно линзообразной формы и ленточной текстуры. Волокно добываемого асбеста — белое, шелковистое, высшего качества.

В мировых запасах и добыче хризотил-асбеста удельный вес месторождений, локализованных в карбонатных породах, едва достигает 1%.

Среди разведанных в мире месторождений асбеста могут быть выделены три морфогенетических типа, составляющие основу асбестовой промышленности (табл. 16).

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Разработка долгосрочных прогнозов развития народного хозяйства отнесена на XXIV и XXV съездах КПСС к задачам первостепенного значения. В докладе ЦК КПСС XXV съезду Л. И. Брежнев отметил, что «...Для развития тяжелой промышленности, как, впрочем, и других отраслей народного хозяйства, все большее значение приобретает разработка крупных комплексных программ, рассчитанных на два-три пятилетия — таких, как программа развития топливно-энергетического комплекса, металлургии, ведущих отраслей машиностроения. Только на долгосрочной основе можно выработать такие программы, тесно увязать их между собой, обеспечить их ресурсами, состыковать во времени. Такие программы должны, естественно, учитывать непрерывный прогресс отечественной и мировой науки и техники, возможности экономического сотрудничества с другими государствами. Эти программы должны также предусматривать более целесообразное размещение производительных сил внутри страны, потребности освоения новых районов, особенно богатых сырьем и топливом»*.

Вопросы долгосрочного народнохозяйственного планирования заняли в последнее время значительное место в проводимых в стране экономических исследованиях, а разработка методологии прогнозирования рассматривается как одно из важнейших направлений экономической науки.

Долгосрочным прогнозам развития отраслей промышленности и сельского хозяйства в последнее время придан необычайно большой размах во многих странах.

За истекшие 20 лет проблема прогнозирования обсуждалась более чем на 50 международных симпозиумах и конференциях отдельных стран. Число работ по предвидению будущего превысило 1500, и хотя экономическое прогнозирование является сравнительно новой проблемой и нуждается еще в глубокой научной разработке методических основ, уже разработаны и с успехом практически используются разнообразные методы.

В общем комплексе этих разработок значительное место принадлежит прогнозу развития и освоения минеральных ресурсов. За рубежом, в социалистических и промышленно развитых капиталистических странах периодически проводятся исследования с целью оценки потребности в минеральном сырье и ее обеспеченности на отдаленную перспективу в отраслевом, национальном и глобальном разрезе. Обычно прогноз потребности определяется путем ретроспективного изучения роста добычи и потребления каждого вида минерального сырья, его доли в общем национальном продукте, соотношения к численности населения и объему промышленного производства, ожидаемого роста этих показателей в соответствии с имеющимися данными технической информации относительно возможных новых областей использования сырья, вероятных заменителей и вероятного наличия этого сырья. Очень

* Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 42.

широко эти исследования проводятся в США, которые являются крупнейшим потребителем минерального сырья и находятся в большой зависимости от его импорта. Большое значение придается прогнозу развития и освоения минерально-сырьевой базы в Советском Союзе, значение его для нашей страны особенно возрастает в связи с тем, что в отличие от всех других государств СССР не только обеспечивает свою основную потребность в минеральном сырье и продуктах его переработки, но в больших и все возрастающих объемах их экспортирует.

Прогнозирование развития и освоения минерально-сырьевой базы представляет собой научную разработку весьма сложной народнохозяйственной проблемы.

Применительно к этим исследованиям сохраняется важное значение издавна известного *метода экспертных оценок*, который заключается в сборе, систематизации и анализе различных предложений и оценок, полученных от экспертов и основанных на глубоком знании определенных отраслей науки и техники и тенденций их развития. Большая часть ранее сделанных и использованных при перспективном планировании прогнозов получена именно этим методом. Степень достоверности его в значительной степени зависит от подбора экспертов и организации их работы. Основной областью применения указанного метода является оценка прогнозных запасов полезных ископаемых и перспектив роста потребности в минеральном сырье и продуктах его переработки, а также прогнозирование научно-технического прогресса в производстве геологоразведочных работ, добыче и использовании полезных ископаемых.

Одним из типичных методов экспертных оценок является метод «Дельфи», разработанный корпорацией «Рэнд» и использующий усредненные данные ряда параллельных экспертных оценок. Он состоит в систематическом сборе мнений экспертов по какому-либо вопросу, в получении надежного обобщения этих мнений от группы экспертов в обстановке, исключающей прямые дебаты между экспертами, но вместе с тем позволяющей им взвешивать свои суждения с учетом ответов и доводов своих коллег и дополнительной информации, запрашиваемой хотя бы одним из членов группы экспертов.

Метод осуществляется путем:

— постановки серии вопросов (с помощью специальных анкет), ответы на которые должны содержать количественную характеристику предмета;

— проведения нескольких туров опроса, в процессе которых вопросы все более уточняются;

— ознакомления всех опрашиваемых специалистов-экспертов после каждого тура опроса с информацией, полученной на основании обработки результатов предыдущего тура;

— получения от экспертов, чьи мнения резко отличаются от мнения большинства, объяснения причин этих отклонений;

— последовательной — от тура к туру — статистической обработки ответов экспертов.

Применяются и ряд других вариантов метода экспертных оценок — «мозговой атаки» (выдвижение множества альтернативных идей для мозгового анализа, проверки, критики и сравнения); сценария (описание вариантов, возможные обстановки в будущем); ранжирование (присвоение числовых рангов по степени возможности отдельных факторов) и др.

Вне зависимости от организационных форм и вариантов использования метода экспертных оценок одним из радикальных путей повышения точности и глубины прогноза является привлечение к экспертизе коллектива наиболее компетентных специалистов. На основании их субъективных мнений формируется общее решение.

Весьма широко и разнообразно при разработке прогнозов применяется *метод экстраполяции*, основанный на перенесении в будущее проверенных опытом тенденций развития в прошлом. Этот метод, отличающийся сравнительной простотой, дает возможность, изучая статистические закономерности развития в прошлом и учитывая влияние многочисленных факторов, получать наиболее достоверные результаты. Он позволяет с помощью взвешенной регрессии осуществлять так называемый адаптивный прогноз, в ходе которого поступающая новая информация непрерывно используется для уточнения оценок прогнозируемых величин.

Простая механическая экстраполяция прежних трендов динамических рядов темпов роста или объемов производимой продукции может быть с большей или меньшей достоверностью применена при прогнозировании процессов, главные тенденции развития которых в определенный период будут носить устойчивый характер. В других случаях этот метод может быть использован с существенными поправками, учитывающими влияние разнообразных факторов и особенно технического прогресса и внешних воздействий.

Сущность прогнозирования заключается в анализе действовавших и зарождавшихся тенденций в прошлом и оценке их действий в будущем (на основе выявления факторов, вызывающих изменение характера тенденций и сроков их действия), в определении возможных альтернатив развития в перспективе и в выработке вариантов активного воздействия на факторы будущего развития. Вполне естественно, что в связи с ускорением темпов технического прогресса степень достоверности прогноза на основе метода экстраполяции постепенно снижается.

Разработка прогнозов развития народного хозяйства и отдельных его отраслей предполагает также использование ряда других *методов* — *нормативного, системного анализа, логического моделирования, экономико-статистического моделирования, анализа процессов «насыщения» потребности, замещения одних видов материалов другими, межотраслевого анализа, экспертных оценок структурных сдвигов в технике и технологии производства*, определяющих изменения в нормах расхода и абсолютных уровнях потребления минерального сырья. Нередко эти методы совмещаются в различных сочетаниях. Экспертная оценка часто опирается на экстраполяцию и частные модели, параметры математических моделей получают путем экстраполяции и экспертной оценки, прогнозирование научно-технического прогресса может осуществляться путем сочетания нормативного и экстраполяционного прогнозов. В ряде случаев почти невозможно установить, где перестает использоваться один метод и начинает действовать другой.

Признано целесообразным при разработке долгосрочного перспективного плана развития народного хозяйства СССР использовать в качестве основы многоступенчатый комплекс оптимизационных экономико-математических моделей.

Важно, чтобы долгосрочный прогноз содержал данные не только о предполагаемом развитии существующих и проектируемых производств, но и о возможном возникновении и влиянии новых производств.

Составляющими частями прогноза развития и освоения минерально-сырьевой базы являются:

— прогноз перспективной народнохозяйственной потребности в минеральном сырье и продуктах его переработки и прогноз развития горнодобывающей промышленности;

— определение основных направлений и объемов геологоразведочных работ и прогноз научно-технического прогресса в их производстве;

— оценка прогнозных запасов полезных ископаемых и их экономическая характеристика.

ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВНОЙ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПОТРЕБНОСТИ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ И ПРОДУКТАХ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ. ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Одной из основ научного предвидения и определения альтернатив перспективной потребности в минеральном сырье может служить объективный анализ ее развития в прошлые годы (экстраполяция, регрессия). При этом имеется в виду не механический перенос темпов прошлого периода на будущий, а разносторонний анализ динамики потребления сырья и продуктов его переработки отдельными категориями потребителей в предшествующие периоды, а также экономических и технических причин, влиявших на размер и структуру потребления.

При использовании метода экстраполяции за ретроспективный период, соизмеримый с периодом прогнозирования, анализируется изменение в уровне потребности. Исходя из предположения, что наметившиеся тенденции сохранятся в будущем, составляется уравнение, достаточно полно характеризующее прошедший период, и из него с учетом доверительных границ определяются средние и крайние значения потребления в будущем. При этом в качестве аппроксимации обычно используются линейное, квадратичное, реже экспоненциальное, логистическое или другие виды приближений.

Однако прогноз, основанный только на методе экстраполяции темпов роста потребности исходя из тенденции ее развития в прошлом, может быть более или менее достоверным, только если рассматривается сравнительно короткий срок (порядка 5—10 лет), обусловленный предположительностью внедрения новой техники и технологии. Обычно она определяется методом прямого счета, используемого при разработке материальных балансов на ближайшее пятилетие, на основе расчетов по каждой потребляющей отрасли исходя из намечаемых объемов производства, прогрессивных норм расхода минерального сырья и заданий по их снижению.

При использовании метода экстраполяции в качестве базового периода рекомендуется принимать двадцатилетие. При этом в зависимости от количества факторов, одновременно влияющих на уровень потребности в данном виде минерального сырья, может быть использована простая регрессия (в случае корреляционной зависимости от одного фактора) или множественная регрессия (при влиянии нескольких факторов). Примером применимости простой регрессии является цементное сырье, потребность в котором однозначно определяется объемом промышленного строительства. Прогнозная потребность в меди может быть определена методом ступенчатой регрессии с использованием зависимости потребности в меди от развития электротехнической про-

мышленности, определяемого в свою очередь потребностью в электроэнергии.

Применительно к никелю примером тесной корреляционной зависимости является увеличение его потребления в связи с общим ростом выплавки стали и в особенности высококачественной никельсодержащей стали. Определить перспективную потребность в никеле для сплавов цветных металлов, гальванотехники, химической промышленности значительно сложнее.

Практически не апробированным остается не очень надежный метод множественной регрессии, возможный в случаях одновременного влияния нескольких факторов на уровень потребности.

Самостоятельные отрасли народного хозяйства, потребляющие одинаковый вид сырья, могут резко отличаться в тенденциях сдвигов в его потреблении. В таких случаях прогноз, основанный на методе множественной регрессии, значительно усложняется и достоверность его зависит от точности используемых исходных материалов.

Вполне оправданным является использование анализа насыщения и анализа предела в тех случаях, когда уровень потребления отдельных видов минерального сырья на душу населения или на единицу площади в ведущих капиталистических странах может быть учтен в какой-то мере при прогнозировании, в частности при прогнозировании потребности в минеральных удобрениях.

С увеличением прогнозируемого периода уменьшается устойчивость частных тенденций и процессов, которые обычно служат основой при краткосрочном прогнозировании. Достоверность прогноза потребления на более продолжительный период, в частности до 2000 г., будет в значительной мере зависеть от того, насколько полно и обоснованно определены и учтены основные направления технического прогресса и связанные с ним вероятные изменения в структуре потребления и областях применения минерального сырья и продуктов его переработки, их взаимозаменяемость, возможности эффективного использования новых видов минерального сырья и искусственных заменителей, вторичного металла, а также тенденции изменения себестоимости и цен.

К взаимозаменяемым прежде всего относится алюминий (частичная замена меди, свинца, олова), ниобий (в качестве легирующего компонента может заменить вольфрам, молибден, никель), молибден (замена вольфрама в металлургии), титан (как заменитель нержавеющей стали в химическом машиностроении) и т. д. Из синтезируемых минералов, перспективных для частичной замены природного сырья, следует отметить алмазы, пьезокварц, слюду.

Существует динамическая взаимосвязь между ценой минерального сырья и перспективной потребностью в нем. Уровень перспективной цены непосредственно влияет на объем перспективной потребности. В общем случае, чем ниже цена, тем больше потребность в продукции из минерального сырья. В базовом периоде, несмотря на противодействующее влияние научно-технических усовершенствований, действие природного фактора в основном приводит к повышению себестоимости и отпускных цен на минеральное сырье.

При проведении в последние годы проектными институтами отраслевых министерств исследований по прогнозной оценке потребности отраслей промышленности в минеральном сырье и в продуктах его переработки применялись в основном экспертные оценки и разнообразные статистические методы — экстраполяция, регрессивный корреляционный

анализ, экономико-статистическое моделирование и др., метод межотраслевых связей, замещения и расчетно-нормативный метод с учетом связей и зависимостей между развитием отрасли и ростом общего промышленного производства (выплавка стали, производство электроэнергии, объем продукции машиностроения и др.), ростом численности населения, а также долгосрочных прогнозов потребности зарубежных стран в минеральном сырье.

Широко применяются расчеты потребности в соответствии с заданными нормативами, в частности насыщения потребности или достижения определенного директивного заданного уровня к определенному сроку, прямые расчеты потребности в соответствии со структурой потребления и областями применения, корреляции с показателями сопряженных отраслей или народного хозяйства в целом.

Используется анализ кумулятивной потребности, основанный на исследовании тенденций ее роста, выраженного в виде нарастающего с каждым периодом времени итога. Такие тенденции в ряде случаев обнаруживают наибольшую стабильность и поэтому более пригодны для долгосрочного прогнозирования, если структура потребления в оцениваемый период будет претерпевать только количественные изменения.

Потребность в минеральном сырье и продуктах его переработки определяется в целом по стране, а по нетранспортабельному сырью — по союзным республикам и экономическим районам. Она рассчитывается до 2000 г. с выделением уровней по опорным годам — 1980, 1985, 1990, 1995 и 2000.

Определялись также перспективы внешней торговли минеральным сырьем и основными продуктами его переработки, возможные и целесообразные изменения в структуре и объемах их экспорта и импорта. Весьма существенной представляется разработка прогнозной концепции относительно внешней торговли минеральным сырьем и основными продуктами его переработки, изучение возможных предпосылок развития импорта ряда видов минерального сырья из развивающихся стран, снижения нашего экспорта отдельных видов минерального сырья за счет продуктов его переработки.

Установление уровней перспективной потребности в минеральном сырье позволяет перейти к прогнозированию его добычи и переработки, которое должно также опираться на разработанные модели межотраслевого баланса перспективного развития народного хозяйства с целью согласования и взаимоувязки с прогнозируемым развитием экономических процессов и потребляющих отраслей.

Долгосрочный прогноз потребности в минеральном сырье и в продуктах его переработки служит основным исходным показателем для определения путей развития сырьевых отраслей промышленности, которое должно исходить из необходимости полного удовлетворения прогнозируемой потребности.

Методом экстраполяции можно достаточно приближенно оценить и уровни производства, поскольку горнодобывающая промышленность весьма инерционна в связи с большой капиталоемкостью и длительностью сроков, требующихся на освоение новых месторождений и достижение ими заданных мощностей. Хорошие результаты могут быть достигнуты на срок прогнозирования до 10—15 лет. Тем не менее этот способ не учитывает возможных коренных изменений и при прогнозировании на долгосрочную перспективу может страдать существенными неточностями.

Основными исходными и прогнозируемыми показателями являются объем добычи и переработки минерального сырья, обеспеченность разведанными и прогнозными запасами, капитальные вложения, цены и себестоимость товарной продукции. Прогнозу вариантных уровней добычи и производства предшествует анализ состояния и перспектив развития минерально-сырьевой базы, экономическая оценка разведанных и прогнозных запасов с учетом обеспеченности действующих и проектируемых предприятий по уровню добычи опорных годов на длительный период — не менее срока возврата капиталовложений в промышленное освоение месторождений. Сбалансирование результатов прогнозных расчетов потребления, производства и развития минерально-сырьевой базы позволит более достоверно определить объемы добычи и пути, обеспечивающие минимальные капитальные затраты и издержки производства.

Оцениваются перспективы роста добычи полезных ископаемых действующими шахтами, рудниками и карьерами, сроки и последовательность вовлечения в хозяйственный оборот резервных месторождений. Если прогнозируемая потребность не обеспечивается за счет освоения разведанных месторождений, рассматривается возможность ее удовлетворения за счет выявления новых месторождений (на базе прогнозных запасов), наиболее благоприятных по размещению и возможной экономике их промышленного освоения. В этом случае экономические показатели будущих горнопромышленных предприятий устанавливаются методом аналогии.

При особо неблагоприятном положении с ресурсами для полного удовлетворения расчетной потребности может предусматриваться импорт минерального сырья и продуктов его переработки с указанием возможных источников поступления (страны или районы мира), объема импорта и цены за единицу продукции в инвалютных рублях.

Определяются приближенные значения общего экономического эффекта, который может быть получен в результате улучшения географического размещения минерально-сырьевых баз, использования новых, более эффективных месторождений, совершенствования межрайонных экономических связей и т. д.

Выбор рекомендуемых для первоочередного освоения минерально-сырьевых ресурсов производится на основании сравнения приведенных затрат на единицу продукции, включая транспортные расходы и затраты на геологоразведочные работы. Приводятся дифференцированные по отдельным месторождениям показатели себестоимости и удельных капитальных вложений. При расчете объема товарной продукции горнорудных предприятий учитываются все полезные компоненты, использование которых целесообразно.

Эффективность прогнозируемого размещения добычи и переработки минерального сырья определяется с учетом природно-экономических и транспортно-географических особенностей районов, горно-геологических условий разработки месторождений, стоимости электроэнергии и др. Эти расчеты должны базироваться не только на действующих, но и особенно на прогнозных ценах, обусловленных ожидаемыми изменениями общественно необходимых затрат труда. Обобщающими показателями эффективности разработки месторождений являются рентабельность (прибыль на рубль производственных фондов), фондоемкость, приведенные затраты на единицу продукции и окупаемость капитальных вложений.

Перспективы развития добычи и переработки полезных ископаемых определяются в целом по стране, союзным республикам, экономи-

ческим районам и важнейшим предприятиям. В первую очередь определяются:

- возможные уровни добычи и производства и их соотношение с потребностью в сырье и в продуктах его переработки;

- очередность промышленного освоения месторождений;

- баланс обеспеченности сырьем перерабатывающих предприятий (металлургических заводов и др.) с учетом прогнозируемых изменений в географическом размещении добывающих предприятий;

- распределение объемов добычи по способам разработки месторождений;

- соотношение мощностей и экономических показателей выбывающих и вновь вводимых предприятий;

- ожидаемое изменение в качестве и горнотехнических условиях добычи полезного ископаемого;

- распределение разведанных запасов, разрабатываемых и проектируемых к разработке месторождений по себестоимости товарной продукции;

- себестоимость добычи и переработки полезного ископаемого, включая все извлекаемые полезные компоненты;

- цены на полезное ископаемое, продукты обогащения (концентраты или товарные руды) и конечные продукты, а также предполагаемые изменения этих цен на прогнозируемый период;

- рентабельность горнопромышленных предприятий и сроки окупаемости капитальных вложений.

В расчетах по важнейшим предприятиям указывается:

- производственная мощность предприятий по руде, концентрату и полезному ископаемому;

- процент разубоживания полезного ископаемого при добыче и процент потерь в недрах;

- коэффициент извлечения полезных ископаемых, считая от добычи до получения конечной продукции;

- сроки строительства, ввода в действие и доведения до проектной мощности новых предприятий, срок достижения полной проектной мощности действующими предприятиями;

- срок действия предприятия.

Расчеты перспективной потребности в минеральном сырье, его добычи и переработки на всех этапах прогнозирования производятся в трех вариантах — максимальном, среднем и минимальном. Амплитуда различий между крайними значениями вариантов по уровню 2000 г. не должна превышать 50—60% и должна сокращаться по мере перехода к расчетам на более близкий период (1980—1990 гг.). При расчете максимального варианта исходят из перспектив развития отдельных отраслей с учетом реальных геологических возможностей их обеспечения. Минимальный вариант рассчитывается также исходя из перспектив развития отраслей с учетом геологических возможностей, но в этом случае принимают во внимание и реально возможные капитальные вложения в развитие и освоение минерально-сырьевой базы. Расчеты по трем вариантам (уровням) позволяют дифференцировать возможное влияние научно-технического прогресса в различных отраслях производства. Важное значение при прогнозировании развития сырьевых отраслей промышленности приобретает определение уровней необходимых капитальных вложений, сбалансирование прогноза добычи с потребным и возможным финансированием строительства новых, расширения и мо-

дернизации действующих горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

При этом необходимо учитывать, что «материальные и финансовые ресурсы нужно в первую очередь направлять на техническое перевооружение и реконструкцию действующих предприятий — туда, где можно расширить производственные мощности без нового строительства или с меньшими удельными капитальными затратами»*.

По большинству видов минерального сырья расчеты капитальных вложений до 1985 г. могут быть в основном выполнены на базе имеющихся проектных разработок по освоению известных месторождений. Полученные при этом удельные капитальные затраты (затраты на единицу мощности добывающих и перерабатывающих предприятий) могут быть использованы в качестве приближенного ориентира при расчетах капитальных вложений на развитие добычи и переработки в 1986—2000 гг. на прогнозируемых новых месторождениях. При расчетах капитальных вложений должны быть учтены и затраты на поддержание мощностей действующих предприятий, на их расширение и модернизацию.

Прогнозу добычи минерального сырья предшествует анализ ее развития за прошедший период и анализ современного состояния минерально-сырьевой базы. При этом целесообразно выделить три группы месторождений:

- месторождения, на базе которых действуют и строятся горнорудные предприятия;
- месторождения, намеченные к освоению до 1990 г.;
- резервные месторождения, не намечаемые для освоения до 1990 г.

По первой группе месторождений рассчитывается обеспеченность действующих предприятий балансовыми запасами, ожидаемыми на начало 1991 г. (с учетом возможного прироста и погашения запасов), по уровню их полной проектной мощности. В итоге могут быть определены геологические и горнотехнические возможности и экономическая целесообразность расширения добычи на действующих предприятиях.

Определяются выбывающие из эксплуатации в перспективном периоде месторождения и суммарные мощности выбывающих горнорудных предприятий, требующие соответствующей замены для обеспечения простого воспроизводства.

Геолого-экономический анализ месторождений второй группы должен показать достаточность горнорудных мощностей, вводимых в соответствии со схемой развития отрасли для компенсации выбывающих мощностей, а также необходимого для удовлетворения потребности роста добычи.

При рассмотрении резервных месторождений можно выделить ряд подгрупп:

- месторождения, характеризующиеся тяжелыми геологическими и горнотехническими условиями, затрудняющими их освоение;
- месторождения, расположенные в экономически малоосвоенных районах;
- месторождения, представленные рудами с нерешенной технологией их обогащения;

* Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 46.

— месторождения, наиболее благоприятные по технико-экономическим соображениям для перспективного промышленного освоения.

В тех случаях, когда последние обеспечивают необходимый уровень перспективного развития соответствующей отрасли добывающей промышленности, баланс разведанных запасов явно благополучен.

В современных условиях обязательным ориентиром для перспективного планирования развития сырьевых отраслей должны служить долгосрочные прогнозы научно-технического прогресса, основанные на экономических расчетах.

При определении технической политики на перспективу предпочтению отдается направлениям технического прогресса, обеспечивающим максимальное повышение технического уровня и экономической эффективности традиционных и создание новых, более совершенных процессов производства, стимулирующих существенные сдвиги в его объемах, структуре, трудоемкости, фондоемкости и особенно материалоемкости.

Важной проблемой при экономическом прогнозировании научно-технического прогресса является оценка затрат — капиталовложений и эксплуатационных издержек — на будущую новую технику (исходя из цен, действующих на начало прогнозируемого периода или рассчитанных на перспективу). На основе оценки затрат рассчитывается коэффициент эффективности различных направлений научно-технического прогресса, который сопоставляется с нормативным коэффициентом, установленным для отрасли.

Расчеты экономической эффективности прогнозируемых направлений научно-технического прогресса, особенно тех из них, которые будут реализованы за пределами десятого пятилетия, могут быть весьма ориентировочными, поскольку и сами прогнозируемые процессы отличаются большой неопределенностью.

В результате исследований и экономических расчетов должны быть определены:

— основные направления технического прогресса в области добычи, обогащения и металлургического передела руд и их экономическая эффективность;

— факторы и пути обеспечения максимально возможного эффекта от использования новой техники и технологии, а также сроки их внедрения в производство;

— границы использования уже имеющихся научно-технических достижений, которые могут быть освоены и в массовом масштабе реализованы в прогнозируемый период;

— тенденции в изменении себестоимости, вероятные (до 1980 г.) и предположительные (на 1981—2000 гг.), перспективные оптовые цены на минеральное сырье и продукты его переработки;

— обусловленные техническим прогрессом изменения требований к качеству минерального сырья и горнотехническим условиям разработки месторождений, рациональная взаимосвязь различных полезных ископаемых, степень использования ныне забалансовых руд;

— основные пути улучшения комплексной разработки месторождений, снижения потерь полезных компонентов при добыче и переработке минерального сырья и их реальная экономическая эффективность, мероприятия по охране среды.

Вероятность прогноза долгосрочной потребности и добычи минерального сырья зависит в основном от степени проявления на протяже-

нии перспективного периода наметившихся тенденций в развитии науки и техники и времени внедрения в производство крупных научно-технических достижений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ И ОБЪЕМОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Исходными данными для разработки основных направлений геологоразведочных работ до 2000 г. с учетом повышения их экономической эффективности и обеспечения прогнозируемого развития сырьевых отраслей промышленности являются:

— Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы;

— результаты исследований по оценке прогнозных запасов, геологических предпосылок развития минерально-сырьевой базы, основных направлений технического прогресса в производстве геологоразведочных работ, добыче, переработке и использовании минерального сырья, прогноза развития сырьевых отраслей промышленности.

Реализация основных задач геологической службы не ограничивается 1976—1980 гг., и за пределами десятого пятилетия сохранится необходимость:

«Значительно расширить геологоразведочные работы в целях дальнейшего увеличения минерально-сырьевых ресурсов, в первую очередь в районах действующих горнодобывающих предприятий и во вновь осваиваемых районах страны.

Повысить экономическую эффективность поисковых и разведочных работ и качество подготовки запасов полезных ископаемых. Обеспечить опережающий рост разведанных запасов минерального сырья по сравнению с темпами развития добывающих отраслей промышленности.

Ускорить выявление и разведку новых месторождений нефти, природного газа и конденсата прежде всего в Среднем Приобье и на севере Тюменской области, в Восточной Сибири, Якутской АССР и Коми АССР, в Архангельской области, Средней Азии и Казахской ССР (Прикаспийская впадина). Обеспечить подготовку дополнительных разведанных запасов нефти и газа в районах разрабатываемых месторождений в европейской части страны. Шире развернуть геологоразведочные работы в шельфовых зонах морей и океанов, в первую очередь на нефть и природный газ. Усилить разведку месторождений коксующихся и энергетических углей, особенно в европейской части СССР, богатых и легкообогатимых руд для черной и цветной металлургии, драгоценных металлов и алмазов, сырья для атомной энергетики и производства минеральных удобрений, а также подземных вод».*

Основными прогнозируемыми показателями являются прирост разведанных запасов, обеспеченность ими действующих, строящихся и проектируемых предприятий, сдвиги в географическом размещении сырьевых баз, качество сырья и горнотехнических условиях добычи, затраты на производство геологоразведочных работ и их экономическая эффективность в отраслевом и народнохозяйственном масштабе.

Прирост разведанных запасов на планируемый период определяется из расчета, что эти запасы должны обеспечить на необходимый аморти-

* Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 183.

зационный срок все действующие, строящиеся и проектируемые горнодобывающие предприятия, с учетом сроков их строительства, ввода в действие проектных мощностей и уровней производства в опорные годы пятилеток.

Обеспеченность минеральным сырьем (в годах) определяется отношением балансовых запасов всех категорий, с выделением подготовленных к освоению запасов категорий $A+B+C_1$, к намечаемым годовым объемам добычи. Расчет обеспеченности производится по нефтегазодобывающим, угленосным, рудным районам и отдельным предприятиям.

Для рационального планирования разведочных работ важнейшее значение приобретает определение оптимальных пропорций между разведанными запасами и уровнем добычи минерального сырья как для отдельных месторождений, так и для сырьевых районов, территориально-производственных комплексов и страны в целом. Экономически неоправданными являются случаи, когда разведанные запасы отдельных месторождений превышают мощность построенных или проектируемых на их базе предприятий в 50 и более чем в 50 раз, и в частности, детальная разведка глубоких горизонтов и участков, разработка которых начнется за пределами ближайших 15—20 лет. Учитывая сроки проектирования и строительства горнодобывающих предприятий, завершение разведочных работ на месторождениях предусматривается с опережением в 5—10 лет после начала их разработки.

При определении необходимого прироста разведанных запасов различных полезных ископаемых следует руководствоваться следующими разработанными Госпланом СССР (см. «Методические указания к разработке государственных планов развития народного хозяйства СССР») примерными сроками минимальной обеспеченности разведанными запасами отдельных горнообогатительных предприятий, рудников, промыслов или районов (при необходимом соотношении запасов по категориям).

По предприятиям черной металлургии. Крупные горнообогатительные комбинаты должны быть обеспечены разведанными по категориям $A+B+C_1$ запасами железных руд не менее чем на 40 лет. Обеспеченность разведанными запасами отдельных рудников и карьеров в зависимости от их производительности может колебаться в пределах 20—25 лет.

По предприятиям цветной металлургии. Сроки обеспеченности предприятий разведанными запасами руд цветных, редких и благородных металлов колеблются в значительных пределах в зависимости от масштабов и характера этих предприятий: крупные предприятия алюминиевой промышленности должны быть обеспечены разведанными запасами бокситов не менее чем на 30—40 лет, предприятия медной, свинцово-цинковой и никелевой промышленности должны быть обеспечены разведанными запасами на 30—40 лет, крупные предприятия по добыче и производству вольфрама, молибдена, олова, ртути — на 20—30 лет, золоторудные предприятия — на 15—20 лет, небольшие предприятия эксплуатирующие богатые месторождения некоторых цветных металлов, золота и ценных видов неметаллического сырья, а также россыпные месторождения благородных и редких металлов — на 5—10 лет.

По предприятиям угольной промышленности. Разведанные запасы угля должны обеспечить деятельность шахт годовой мощностью 0,6—0,9 млн. т — на 40—50 лет, мощностью 1—2 млн. т — на 50—60 лет, деятельность карьеров мощностью 3 млн. т и более — на 40—50 лет.

По нефтяной и газовой промышленности. Сроки обеспеченности намечаемых уровней добычи разведанными запасами по СССР в целом и отдельным районам должны составлять по категориям $A+B+C_1$ — 30—35 лет, а по газовой промышленности — 25—30 лет. По новым районам и крупным месторождениям, еще не освоенным промышленностью, по которым требуются особенно большие капиталовложения, обеспеченность разведанными запасами должна быть выше указанных пределов; по старым районам, где эксплуатируются высокодебитные месторождения, допускается снижение обеспеченности разведанными запасами.

По горнодобывающим предприятиям химической промышленности и промышленности строительных материалов. Обеспеченность разведанными запасами может колебаться от 40 до 50 лет для крупных предприятий, от 20 до 30 лет для предприятий средних масштабов и от 10 до 15 лет для сравнительно небольших рудников или карьеров.

Исходя из необходимости обеспечить намечаемое развитие отдельных отраслей народного хозяйства минеральным сырьем с учетом требований к его качеству и географическому размещению определяется прирост разведанных запасов различных полезных ископаемых, который должен быть достигнут в заданные сроки. Необходимые приросты запасов полезных ископаемых определяются по СССР в целом, союзным республикам, экономическим, нефтегазоносным и рудным районам, угольным бассейнам, отдельным месторождениям и предприятиям с выделением промышленных типов руд указанием их ожидаемых свойств (качества, глубины залегания, среднего содержания полезных компонентов) и оценкой степени освоения месторождений.

Расчеты необходимого прироста разведанных запасов опираются на уточненные данные о прогнозных запасах, подсчитанных геологическими организациями.

Из общего количества разведанных запасов выделяются активные запасы, которые подразделяются по степени освоения на запасы эксплуатируемых месторождений, запасы месторождений, проектируемых и намечаемых к освоению до 2000 г., и на запасы резервных месторождений, освоение которых возможно за пределами текущего столетия.

При прогнозировании основных направлений геологоразведочных работ и определении уровней прироста разведанных запасов надо учитывать, что важнейшей задачей геологической службы является качественное улучшение минерально-сырьевой базы страны путем поисков и разведки в первую очередь крупных месторождений и месторождений с богатыми или легкообогатимыми рудами, благоприятными географическими и горнотехническими условиями разработки, особенно пригодных для открытой добычи, экономически выгодных для промышленного освоения и для развития данной отрасли промышленности. Наиболее детально должны быть обоснованы предложения к проекту плана геологоразведочных работ на 1981—1985 гг.

Учитывая 10-летний лаг, при определении приростов запасов на 1986—1990 гг. следует ориентироваться на прогноз развития добывающей промышленности в 1996—2000 гг. При этом основными расчетами определяются:

- очередность и объемы поисковых и разведочных работ;
- погашаемость разведанных запасов, их восполнение и состояние на начало опорных годов пятилеток;

— очередность вовлечения в промышленное освоение разведанных месторождений и возможные уровни добычи по опорным годам пятилеток с учетом сокращения или прекращения ее на обрабатываемых месторождениях.

Прирост балансовых запасов определяется суммарным выбытием горнодобывающих мощностей в прогнозируемом периоде и прогнозируемым ростом добычи и погашения с учетом минимально необходимого уровня обеспеченности разведанными запасами, потерь при добыче и переработке, а также их восполняемости, обеспечивающей возможности выбора из разведанных месторождений наиболее эффективных для первоочередного промышленного освоения.

Расчеты прироста разведанных запасов за пределами 1985 г. следует производить по трем вариантам: максимальному, среднему и минимальному — в полном соответствии с рассчитанным проектными институтами по указанным вариантам прогнозом развития добычи и переработки минерального сырья.

В результате произведенных расчетов определяются:

— обеспеченность разведанными запасами по опорным годам пятилеток действующих, строящихся и проектируемых предприятий;

— ожидаемые изменения качества добываемого сырья, горнотехнических условий разработки месторождений, связанные с этим возможные изменения экономической эффективности общественного производства в сырьевых отраслях промышленности с учетом технического прогресса в добыче и переработке минерального сырья;

— удельный вес Советского Союза в мировых разведанных запасах, добыче и потреблении важнейших видов минерального сырья на начало пятилеток;

— необходимые затраты на производство прогнозируемых геологоразведочных работ с учетом прогресса в технике и методике их проведения.

Затраты на геологоразведочные работы приводятся по пятилетиям в целом по СССР, союзным республикам и экономическим районам с выделением крупных месторождений, а также по отраслям и полезным ископаемым. Отдельно указываются затраты за счет госбюджета и капитальные вложения в глубокое разведочное бурение на нефть и газ.

Экономическая эффективность геологоразведочных работ характеризуется основными технико-экономическими показателями:

— удельными затратами на прирост разведанных запасов (а по углям также на прирост мощностей);

— соотношением удельных затрат на прирост разведанных запасов с себестоимостью добычи и оптовыми ценами;

— превышением запасов над их погашением при добыче;

— долями затрат на геологоразведочные работы в капитальных вложениях как в целом по СССР, так и по отдельным полезным ископаемым.

Весьма сложным является определение затрат на прогнозируемое производство геологоразведочных работ и удельных затрат на прирост разведанных запасов. Фактические уровни этих затрат в прошлом могут служить лишь исходными сугубо ориентировочными показателями, подлежащими значительной корректировке в зависимости от существенных изменений условий проведения работ. Расчеты корреляционных зависимостей изменений затрат, обусловленных сдвигами в географиче-

ском размещении работ, удельном соотношении поисковых и разведочных стадий, изменением промышленных типов месторождений и их масштабов и другими факторами могут позволить получить корректирующие коэффициенты. Важным фактором для прогнозирования затрат является количественный учет научно-технического прогресса в геологоразведочной отрасли. Необходимо экономический эффект от ожидаемого внедрения новых методов поисков и разведки и нового освоения соизмерить с прогнозируемым объемом геологоразведочных работ и определить его удешевляющее влияние на единицу прироста запасов.

ПРОГНОЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА В ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

Прогноз научно-технического прогресса в производстве основных видов геологоразведочных работ, в методах поисков и разведки месторождений полезных ископаемых является одной из важнейших составных частей долгосрочных прогнозов минеральных ресурсов.

Для этой цели предусматривается всемерное развитие исследований в наиболее перспективных областях науки и сокращение сроков внедрения их результатов. Должны быть созданы и внедрены принципиально новые орудия труда, материалы и технологические процессы, превосходящие по своим технико-экономическим показателям лучшие отечественные и мировые достижения. Большое значение придается проведению исследований в области геологии, геофизики и геохимии для выявления закономерностей размещения полезных ископаемых, повышения эффективности методов их поисков, добычи и обогащения.

При выборе и обосновании главных направлений научно-технического прогресса в производстве геологоразведочных работ и всесторонней их экономической оценке рекомендуется выделять:

— проблемы, уже решенные в научном и техническом отношении, и реализация которых в широких масштабах может быть осуществлена в течение прогнозируемого периода;

— научные открытия, которые в течение прогнозируемого периода могут быть доведены до технических решений, и их внедрение, возможно, будет начато в производстве;

— поисковые научные работы, доведение которых до научных открытий возможно в пределах прогнозируемого периода, но технические решения и их внедрение в производство, вероятно, будут иметь место за пределами прогнозируемого периода.

Экономическое прогнозирование призвано определить необходимые и возможные пути и уровни технического прогресса в отрасли, установить экономические границы внедрения основных его направлений в течение прогнозируемого периода.

К числу основных задач исследований относится изучение последних достижений науки и техники в СССР и за рубежом в области геологии, геофизики, бурения, в смежных отраслях и фундаментальных науках, оценка их влияния на научно-технический прогресс в геологоразведочных работах. Изучение этих достижений необходимо начать уже на первом этапе исследований с тем, чтобы результаты его можно было использовать при разработке предложений по основным направлениям научно-технического прогресса в геологоразведочных работах на ближайшие пятилетия и на дальнюю перспективу (до 2000 г.).

При определении и исследовании основных направлений и тенденций научно-технического прогресса в геологоразведочных работах необходимо учитывать группу факторов, к которым в первую очередь следует отнести:

— уровень и тенденции развития методов и техники геологоразведочных работ в СССР и за рубежом;

— последние научно-технические разработки в области геологоразведочных работ в СССР, их соответствие мировому уровню, возможность решения с их помощью принципиально новых геологических задач;

— новые научно-технические разработки в смежных отраслях, внедрение которых может оказать значительное влияние на развитие методов и техники геологических исследований;

— основные направления и результаты новейших теоретических исследований в области геологии, методики поисков и разведки, геофизики, бурения и смежных дисциплин;

— основные направления и результаты последних исследований в области фундаментальных наук, которые могут послужить основой для научных разработок и использоваться для целей геологоразведочных работ;

— потенциальное значение отдельных научных и научно-технических разработок с точки зрения возможных объемов внедрения и сложности решаемых ими задач, их геологическая эффективность;

— время, затрачиваемое на претворение в жизнь и внедрение теоретических и технических разработок в практику геологоразведочных работ (лаг времени);

— возможная окупаемость новой модели, пока ей на смену не придет еще более совершенная конструкция.

Перечисленные факторы имеют разное значение для оценки перспектив развития геологоразведочных работ в ближайшие годы и на два-три десятилетия вперед. Поэтому на первом этапе исследований, в процессе подготовки материалов для разработки предложений по научно-техническому прогрессу на ближайший период, необходимо прежде всего обратить внимание на достижения в области геологоразведочных работ, экономическая эффективность которых очевидна.

При выявлении наиболее перспективных направлений научно-технического прогресса на дальнюю перспективу, наоборот, большое значение приобретают разработки и открытия, внедрение которых в практику требует определенного времени. При этом сначала должны быть разработаны предложения по развитию соответствующих направлений и определена их геологическая и экономическая эффективность на основе сравнения точности и достоверности результатов геологических исследований, получаемых новым и базовым вариантами.

Вторая группа факторов, оказывающих влияние на перспективы научно-технического прогресса, связана с оценкой экономической целесообразности внедрения новых разработок и открытий с учетом возможностей отрасли и народного хозяйства. Сюда в первую очередь относятся:

— экономическая эффективность, достигаемая при проведении геологоразведочных работ новым методом, техникой по сравнению с применяемой в настоящее время (или с другой прогнозируемой разработкой), определяемая с учетом геологической эффективности;

- ассигнования на геологоразведочные работы и их стоимость;
- размеры капитальных вложений, в том числе на новую технику;
- сроки окупаемости и коэффициент эффективности капитальных вложений;

— состояние и перспективы развития производственной базы по выпуску геологоразведочного оборудования.

Эти факторы имеют особенно большое значение для составления прогнозов на ближайший период. При оценке долгосрочных перспектив главное внимание необходимо уделять оценке качества новых разработок и экономической эффективности развития соответствующих направлений.

Сложной проблемой прогнозирования научно-технического прогресса является сопоставление вариантов и оценка экономической эффективности отдельных его направлений.

В соответствии с «Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений» при составлении вариантов технических решений, внедрении новых видов техники следует отдавать предпочтение варианту, который обеспечивает минимум приведенных затрат, при соблюдении сопоставимости эффекта по сравниваемым вариантам. Последнее условие выдвигает задачу учета геологической эффективности сравниваемых методов и средств геологоразведочных работ при решении одних и тех же задач и в первую очередь учет количества и достоверности получаемой геологической информации.

Поскольку геологоразведочные работы являются сложным процессом, включающим несколько этапов и стадий, оценка экономической эффективности внедрения научно-технического прогресса должна осуществляться по всему комплексу. Кроме того, необходимо учитывать затраты в других отраслях народного хозяйства, связанные с внедрением новых методов и техники геологоразведочных работ.

В области геологоразведочных работ составление прогнозных оценок экономической эффективности внедрения новых разработок включает в себя:

- выбор наиболее эффективного направления исследований по минимуму приведенных затрат;

- оценку геологической эффективности результатов исследований, получаемых новым и базовым вариантами;

- расчет экономического эффекта от внедрения новой техники, в общем случае (для оценки на отраслевом уровне) на основе учета затрат по всему комплексу исследований (геологические, геофизические, буровые, горные и т. д.), в частном — по комплексу исследований для решения конкретной задачи;

- расчет экономической эффективности и оценку перспективности внедрения новых разработок как для крупных комплексов работ, так и для отдельных технических решений (повышение эффективности работы бурового станка, горнопроходческой машины, прибора, аппаратуры, метода) с учетом снижения себестоимости, капитальных затрат, необходимых для выполнения единицы геологического задания, а также повышения достоверности и точности результатов работ;

- учет влияния научно-технического прогресса в отдельных видах работ (геологических, геохимических, геофизических, буровых и горнопроходческих) на экономическую эффективность всего комплекса работ;

- оценку экономической эффективности прогнозируемого развития различных направлений научно-технического прогресса с учетом затрат

на всех этапах разработки и внедрения научно-технических предложений от научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ до внедрения опытных образцов. В связи с тем, что ассигнования, направляемые на разработку новых методов и техники, начинают давать экономический эффект лишь через несколько лет, в сумму затрат должны быть введены соответствующие поправочные коэффициенты.

Разработка рекомендаций по развитию основных направлений научно-технического прогресса должна опираться на результаты исследований еще одной группы факторов, связанных с основными геологическими проблемами, которые должны быть решены в прогнозируемый период. К этим факторам относятся:

- территориальное размещение геологоразведочных работ;
- глубинность исследований;
- геолого-геофизическая характеристика объектов исследований (глубины, физические характеристики, мощности, элементы залегания, геологическое строение, типы руд, содержание полезных компонентов и др.).

Сложная зависимость конечных экономических результатов от научно-технического прогресса, необходимость учета большой группы факторов, связанных с перспективами развития минерально-сырьевой базы, достижениями науки и техники и всего народного хозяйства, требуют осуществления глубокого и всестороннего анализа весьма разнообразной системы показателей и оценки их влияния на темпы и эффективность научно-технического прогресса.

Исследование подобных проблем возможно с помощью системного анализа, который предполагает выявление и комплексное изучение составных элементов системы и их взаимосвязей.

ОЦЕНКА ПРОГНОЗНЫХ ЗАПАСОВ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Оценка прогнозных запасов полезных ископаемых в количественном выражении должна производиться на всех этапах и стадиях геологоразведочного процесса, начиная с мелкомасштабных региональных геологических съемок.

Постоянная комиссия СЭВ по геологии рекомендовала (июль 1966 г.) при оценке прогнозных запасов полезных ископаемых исходить из следующих принципиальных положений:

- прогнозными запасами являются неразведанные запасы полезных ископаемых, предполагаемые на основании изучения закономерностей образования и размещения месторождений полезных ископаемых и исследований, раскрывающих геологическое строение и историю геологического развития оцениваемой территории;

- прогнозные запасы позволяют судить о возможности расширения минерально-сырьевой базы соответствующей отрасли народного хозяйства и должны служить основой для планирования и выбора направления всех видов геологических исследований и геологоразведочных работ;

- прогнозные запасы отличаются от запасов категории C_2 тем, что параметры оценки по прогнозируемым объектам (размеры по простиранию и мощности, среднее содержание полезных компонентов и др.) являются предположительными, определяются косвенно и могут подсчитываться вне геометрических контуров;

— прогнозные запасы оцениваются на основе данных об истории геологического развития и особенностях геологического строения рассматриваемой территории, полученных в результате широких комплексных геологических, геофизических и геохимических исследований, а также анализа структурно-тектонических, минералого-петрографических, литолого-стратиграфических, палеогеографических и других факторов, определяющих условия локализации полезного ископаемого.

Количественная и качественная оценка прогнозных запасов месторождений полезных ископаемых производится с учетом данных по известным месторождениям аналогичного типа, а также имеющихся статистических материалов. Методы оценки прогнозных запасов разрабатываются применительно к различным видам полезных ископаемых и типам месторождений.

Прогнозные запасы оцениваются до глубин, доступных для эксплуатации, а по качеству полезного ископаемого — с учетом требований промышленности и особенностей экономики каждой страны; в каждой стране для оценки прогнозных запасов устанавливаются определенные кондиции по каждому виду полезных ископаемых.

На основании этих принципов и методов геологами Польской Народной Республики составлена и Постоянной комиссией СЭВ по геологии в 1966 г. одобрена методика оценки прогнозных запасов ископаемых углей. (Методика принята с учетом конкретных условий стран — членов СЭВ).

Согласно разработанной методике выделяются две следующие группы прогнозных запасов углей.

I группа. Прогнозные запасы площадей, прилегающих к разведанным участкам и в ряде случаев к освоенным месторождениям и шахтным полям. Количество и качество запасов определяется путем экстраполяции параметров, установленных по соответствующим разведанным участкам.

К прогнозным запасам I группы относятся также запасы площадей, в пределах которых наличие угленосных отложений установлено в отдельных точках (скважины, горные выработки, естественные обнажения и т. п.), если степень изученности геологического строения этих площадей позволяет предполагать постоянство угленосности между точками наблюдений.

Максимальное расстояние между точками углепроявлений, по которым оконтуриваются площади прогнозных запасов I группы, устанавливается для каждой страны в отдельности, исходя из общегеологических представлений.

II группа. Прогнозные запасы площадей (с геологическим строением, известным по единичным скважинам, естественным обнажениям, геофизическим данным и т. п.), прилегающих к контурам прогнозных запасов I группы.

К этой группе относятся также прогнозные запасы площадей с известным геологическим строением, в пределах которых наличие угленосных отложений установлено в отдельных разобщенных точках (естественные обнажения, буровые скважины, горные выработки и т. п.), не позволяющих установить постоянство угленосности на всей площади.

Прогнозные запасы II группы оцениваются приблизительно в пределах контуров, установленных на основании общих геологических и геофизических представлений.

В методике дана подробная характеристика следующих пяти этапов оценки прогнозных запасов ископаемых углей: 1) выделение площадей для оценки прогнозных запасов; 2) установление геологических особенностей площадей, выделенных для оценки прогнозных запасов; 3) определение максимальной глубины залегания угольных пластов для оценки прогнозных запасов; 4) прогнозирование качества ископаемых углей; 5) количественная оценка прогнозных запасов, производимая на основе анализа геологического строения площади и данных о ее угленосности. Способы оценки могут быть различные. Ниже приводятся основные из них.

Метод ближайших блоков. Применяется для определения прогнозных запасов I группы при складчатых крутопадающих угленосных отложениях. При этом количественная оценка их производится по каждой выделенной площади в отдельности по формуле секансов

$$Q = KS \operatorname{sek} \alpha \cdot md,$$

где Q — запасы угля, т; K — коэффициент достоверности (всегда равный 1); S — площадь проекции пласта на горизонтальную поверхность, m^2 ; α — угол падения пласта; m — мощность пласта, м; d — объемная масса угля, t/m^3 .

Метод ближайшего района. Применяется для оценки прогнозных запасов I группы и частично II группы при горизонтально залегающих или складчатых полого залегающих угленосных отложениях. При этом оцениваемая территория в случае необходимости разделяется на ряд площадей, по каждой из которых определяется средняя суммарная мощность пластов угля, его объемная масса, коэффициент достоверности и величина возможной ошибки. Количество прогнозных запасов для каждой площади в отдельности определяется по формуле

$$Q = KSmd,$$

где Q — запасы угля, т; K — коэффициент достоверности (всегда меньше 1); S — площадь подсчета, m^2 ; m — средняя суммарная мощность пластов угля, м; d — объемный вес угля, t/m^3 .

Метод средней угленосности. Применяется при оценке прогнозных запасов I и II групп. Сущность метода заключается в том, что величина средней угленосности (запасы угля в тоннах на 1 км^2) на участках, разведанных по категориям А, В, С₁ и С₂, экстраполируется на прилегающие неразведанные площади, по которым будут определяться прогнозные запасы. При этом количество прогнозных запасов определяется по формуле

$$Q = KSp,$$

где Q — запасы угля, т; K — коэффициент достоверности (всегда меньше 1); S — площадь оценки запасов, км^2 ; p — средняя угленосность, $t/\text{км}^2$.

Метод средней угленосности. Сущность метода заключается в том, что величина средней угленосности (запасы угля в тоннах на 1 км^2 угленосных отложений) на участках, разведанных по катего-

риям А, В, С₁ и С₂, распространяется на прилегающие неразведанные площади. При этом количество прогнозных запасов определяется по формуле

$$Q = KVq,$$

где Q — запасы угля, т; K — коэффициент достоверности (всегда меньше 1); V — объем угленосных отложений, км³; q — средняя угленосность, т/км³.

Для проверки результатов оценки целесообразно определять прогнозныe запасы по каждой площади двумя методами.

В 1968 г. по указанию Министерства геологии СССР геологическими организациями союзных республик произведена оценка прогнозных запасов углей СССР в соответствии с методикой, одобренной Постоянной комиссией СЭВ по геологии, и инструктивными указаниями ЛОПИ и ВИЭМСа.

В зависимости от геологических особенностей и изученности оцениваемых объектов при подсчете прогнозных запасов применялись следующие основные методы:

а) подсчет по гипсометрическим планам отдельных пластов. Применялся в наиболее изученных бассейнах — Донецком, Карагандинском, Кузнецком и др.;

б) подсчет по гипсометрическим планам суммарного пласта.

В принципе этот метод не отличается от предыдущего. Сущность его заключается в подсчете по гипсометрической поверхности условного суммарного пласта, отвечающего по положению и мощности группе сближенных пластов. Этот метод применялся в бассейнах с многопластовыми месторождениями;

в) подсчет по средней углеплотности, заключающейся в экстраполяции углеплотности разведанных площадей, или углеплотности, установленной по данным отдельных скважин, на смежные площади, в пределах которых прослежено или предполагается распространение угленосных отложений. Этот метод применялся при оценке запасов горизонтально залегающих угленосных отложений (Подмосковный, Иркутский, Ленский бассейны и др.);

г) подсчет по объемному коэффициенту угленосности при оценке запасов складчатых многопластовых месторождений;

д) подсчет по вертикальным параллельным сечениям в интенсивно складчатых районах с высокой угленосностью (Горловский бассейн).

Для установления контуров угленосности использовались данные разведочных работ и геологические карты различного масштаба, на которых зафиксированы площади распространения угленосных образований. В большинстве случаев характер распространения угленосности прогнозировался методом интерполяции или экстраполяции от точек с установленной угленосностью. В отдельных районах использовался метод палеогеографического анализа.

При оценке прогнозных запасов применялись рекомендованные методикой Постоянной комиссии СЭВ по геологии коэффициенты достоверности, зависящие от геологической изученности оцениваемых площадей, предполагаемого характера угленосности, наличия интрузивных образований и других факторов. Значение коэффициента достоверности принималось обычно в пределах 0,2—0,7.

При прогнозировании качества угля на неразведанных площадях учитывались общие закономерности метаморфизма.

В соответствии с принятой методикой оценка запасов каменных углей произведена до глубины 1800 м, бурых углей — до 600 м и лигнитов (марка В1 по квалификации, принятой в СССР) — до 300 м, с подразделением по рекомендованным материалам: 0—300, 300—600, 600—1200, 1200—1800 м (с некоторыми отклонениями в зависимости от характера бассейна). Кондиции по минимальной мощности и максимальной зольности для подсчета общих геологических запасов приняты согласно установленным в СССР нормам для забалансовых запасов, но среди них выделены кондиционные запасы, отвечающие нормативам, установленным для балансовых запасов. В частности, для учета общих геологических запасов каменных углей в большинстве случаев принималась минимальная мощность пластов от 0,45 до 0,50 м, для бурых — от 0,7 до 1,0 м; для подсчета балансовых (кондиционных) запасов минимальные рабочие мощности в зависимости от качества каменных и бурых углей и горно-геологических условий принимались от 0,55 до 2,0 м по установленным в СССР кондициям для каждого бассейна.

По степени достоверности выделены три группы прогнозных запасов.

I. Прогнозные запасы изученных бассейнов и месторождений, непосредственно примыкающие к контурам запасов категорий А, В, С₁ и С₂, а также запасы площадей с установленной угленосностью, не учтенные по категории С₂.

II. Прогнозные запасы площадей, прилегающих к контурам прогнозных запасов I группы, а также площадей с известным геологическим строением, на которых наличие угленосных отложений установлено в отдельных точках.

III. Прогнозные запасы площадей, в пределах которых только предполагается наличие угленосности.

Прогнозные запасы **газа** в целом по стране были впервые определены по состоянию на 1 января 1958 г. институтами ВНИГНИ и ВНИГРИ. При этом были учтены не все запасы, возможные в толще осадочных пород, а лишь те, которые приурочены к уже установленным или перспективным продуктивным толщам и заключены на глубинах, достигаемых бурением.

Позднее при определении перспектив долгосрочного развития газовой промышленности возникла необходимость в более полной оценке возможностей недр страны в определении ресурсов газа, заключенных во всем разрезе отложений и во всех возможных типах месторождений.

Новая классификация запасов нефти и горючих газов введена в действие 21 апреля 1959 г., согласно этой классификации к категориям А, В, С₁ относятся запасы уже открытых месторождений нефти и газа, а к категории С₂ — запасы новых структур по пластам, продуктивность которых установлена на других месторождениях нефтегазодобывающей провинции, а также запасы известных месторождений в отдельных неразведанных тектонических блоках и пластах, продуктивность которых предполагается на основании геологических и геофизических данных.

Запасы, менее изученные, чем категория С₂, выделяются в группу прогнозных с подразделением их в зависимости от степени достоверности на две подгруппы — D₁ и D₂.

К подгруппе D_1 относятся прогнозные запасы нефти, газа и конденсата. Подсчитанные по перспективным участкам или комплексам отложений, в пределах которых уже выявлены промышленные месторождения нефти и газа.

Они подсчитываются по бассейнам осадочных пород освещенных региональными геолого-геофизическими исследованиями, опорным и параметрическим бурением, которые предшествуют детальной подготовке площадей к поисковому бурению. Прогнозная оценка залежей нефти и газа производится:

— по предполагаемым структурным, литологическим и стратиграфическим ловушкам, подготовленным к поисковому глубокому бурению, запасы которых не могут быть отнесены к категории C_2 , выявленным и предположительно существующим по данным геологических и геофизических исследований или предполагаемым на основании закономерностей и зависимостей в распределении локальных поднятий на смежных, хорошо изученных территориях.

— по литологическим и стратиграфическим ловушкам, намеченным по данным геологических и геофизических исследований или предполагаемым на основании аналогии геологического строения с хорошо изученной территорией, в пределах которой установлена нефтегазоносность такого типа ловушек.

Запасы подгруппы D_2 подсчитываются по бассейнам осадочных пород в пределах геологически слабо изученных территорий, освещенных лишь мелкомасштабными исследованиями (геокартированием, гравиметрией и др.), не дающими полного представления о глубинном геологическом строении и перспективах нефтегазоносности территорий. Оцениваются прогнозные запасы в литолого-стратиграфических комплексах, нефтегазоносность которых установлена на сходных по геологическому строению крупных тектонических сооружениях, а также в отдельных свитах и пределах территорий с доказанной нефтегазоносностью, которые по степени изученности не могут быть отнесены к подгруппе D_1 . В эту же подгруппу входят запасы по бассейнам осадочных пород с доказанной и предполагаемой нефтегазоносностью на глубинах, не освещенных бурением, в пределах недостаточно изученных частей геологического разреза, а также в зонах регионального распространения литолого-стратиграфических ловушек, нефтегазоносность которых предполагается.

Прогнозная оценка учитывает все возможные скопления нефти и газа, в том числе ныне нерентабельные для разведки и разработки. Наиболее достоверная часть подгруппы D_1 вместе с запасами категории C_2 используется для решения задач ближайшего периода: размещения объемов глубокого поискового бурения, оценки возможного прироста разведанных запасов и добычи нефти и газа, а также проведения проектно-изыскательских работ при строительстве нефтегазопроводов и др.

Оценка прогнозных запасов производится по крупным структурным элементам с учетом общих закономерностей распространения и изменения фаций отдельных литолого-стратиграфических комплексов с последующим распределением запасов по экономическим районам (областям и республикам).

В СССР используются несколько методов оценки прогнозных запасов нефти, газа и конденсата. Наибольшая группа этих методов основана на принципе геологической аналогии, когда величины удельных запасов нефти, газа и конденсата, приходящиеся на единицу площади,

объема пород, объема природных резервуаров или на одну структуру (месторождении), рассчитанные по хорошо изученному (эталонному) участку, распространяются на аналогично построенные оценочные (прогнозные) участки. К этой группе относятся методы, основанные на анализе связи между величиной потенциальных ресурсов нефти, газа и конденсата и различными геологическими показателями и факторами (скоростью прогибания, расстоянием от оценочного участка до границ нефтегазоносного бассейна и др.). Используются и различные варианты непосредственной (прямой) оценки количества жидких и газообразных углеводородов, образовавшегося в материнских породах, эмигрировавшего из этих пород в коллекторы и аккумуляировавшегося в пределах оцениваемых участков (объемно-генетический метод).

Наиболее распространенные методы, получившие практическое при-
ложение:

1) метод сравнительного геологического анализа (метод аналогии), включающий два способа подсчета:

— по средним удельным плотностям запасов на единицу площади или единицу объема,

— по объему запасов, приходящихся на усредненную структуру;

2) метод объемно-генетический — подсчет по средним удельным плотностям запасов нефти и газа на единицу площади и объема производится по всем типам ловушек.

При этом количество запасов, приходящихся на 1 км² или на 1 км³, определенное для изученных и разведанных районов, экстраполируется и на оцениваемые районы аналогичного геологического строения с обязательной корректировкой на основе учета конкретных особенностей геологического строения и перспектив нефтегазоносности оцениваемой территории.

Расчет запасов по удельным плотностям рекомендуется производить по уравнению

$$Q = FqK,$$

где Q — количественная оценка нефти или газа на оцениваемой территории, млн. т или млрд. м³; F — общая площадь оцениваемой территории, км²; q — средняя плотность (количество) запасов нефти и (или) газа, приходящихся на единицу разведанной (эталонной) площади, млн. т/км² или млрд. м³/км²; K — общий поправочный коэффициент степени аналогии, учитывающий нефтегазогеологические различия разведанной и оцениваемой площадей. Он определяется на основе анализа исходных критериев нефтегазоносности с учетом степени изученности.

Расчет запасов удельной плотности на единицу объема производится по несколько видоизмененному уравнению

$$Q = V_p \frac{Q_s}{V_s} K.$$

Подсчет запасов нефти и газа на усредненную структуру (ловушку) сводится к определению количества выявленных и предполагаемых структур и средних запасов, приходящихся на каждую из них. По малоизученным районам число предполагаемых структур (ловушек) определяется как частное от деления общей площади на площадь, приходящуюся на одну структуру (ловушку) в смежных, хорошо изученных и сходных по геологическому строению районах.

Расчет производится по уравнению

$$Q = V_p \frac{Q_a}{V_a} K,$$

где Q — количественная оценка нефти и газа на расчетной площади территории, млн. т или млрд. м³; V_p — объем пород-коллекторов расчетного участка в территории, км³; Q_a — запасы нефти или газа эталонного участка, млн. т или млрд. м³; V_a — объем пород-коллекторов эталонного участка, км³; K — общий поправочный коэффициент степени аналогии.

Средние запасы нефти и газа, приходящиеся на одну структуру (ловушку), определяются как среднее из запасов уже разведанных месторождений в оцениваемых районах либо по аналогии с другими районами.

Произведение средних запасов одной структуры (ловушки) на общее число структур (ловушек) в районе и на коэффициент промышленной нефтегазоносности структур* определяет прогнозные запасы всего района.

Подсчет прогнозных запасов по этому методу имеет ряд существенных недостатков. Так, принцип равномерного распространения запасов нефти и газа в структурах (ловушках), положенный в основу этого способа подсчета, резко противоречит исключительно неравномерному фактическому распределению запасов нефти и газа в разведанных структурах.

К числу недостатков относится также субъективность, проявляемая при выборе величин параметров продуктивных горизонтов или средних запасов и коэффициента промышленной нефтегазоносности структур (ловушек); она приводит к расхождениям в подсчетах в несколько раз, особенно в новых районах, где значения этих показателей приходится принимать исходя из общих геологических соображений и статистических данных по ограниченному числу разведанных площадей.

Кроме того, рассматриваемый метод позволяет оценить только ту часть ресурсов, которая сосредоточена в основном в структурных ловушках, выявляемых обычно при геолого-геофизических исследованиях и структурном бурении: его трудно применить для оценки запасов, сосредоточенных в ловушках стратиграфического и литологического типов, поскольку метод выявления самих ловушек еще недостаточно разработан.

Объемно-генетический метод подсчета прогнозных запасов нефти и газа основан на принципе оценки общего количества углеводородов, приходящихся на 1 км³ нефтематеринских пород осадочного комплекса отложений. Используя последние теоретические представления о происхождении нефти и газа и формировании их залежей, можно подсчитать запасы того или иного бассейна осадочных горных пород исходя из мощности нефтематеринских толщ, площади их распространения и исходного содержания органических веществ, образовавшихся одновременно с осадками и превратившихся в нефть.

По этому методу обычно определяются прогнозные запасы нефти и газа в США. В районах с установленной промышленной нефтегазоносностью прогнозные оценки нефти и газа подсчитываются исходя из

* Процент промышленно нефтегазоносных структур от общего количества структур в данном районе.

практически выявившихся закономерностей в отношении ресурсов этих полезных ископаемых в недрах. В районах с неустановленной промышленной нефтегазоносностью прогнозные запасы нефти и газа принимаются в отношении 3 : 1 к суммарным запасам нефти и газа, соответствующим по степени геологической изученности подгруппе D₁ и определенным методом оценки на усредненную структуру.

Прогнозные запасы нефти и газа систематизируются по интервалам глубин: до 1000 м, от 1000 до 3000 м, от 3000 до 5000 м и от 5000 до 7000 м. По морским акваториям, прилегающим к нефтегазоносным районам, оценка прогнозных запасов нефти и газа производится при глубинах морского дна до 50 м, от 50 до 100 м и от 100 до 200 м.

Коэффициент нефтеотдачи должен быть обоснован и принят по аналогии с разрабатываемыми месторождениями, но с учетом конкретных условий прогнозируемой территории. При подсчете запасов в малоизученных районах коэффициент нефтеотдачи не должен превышать 0,5.

Прогнозные запасы нефти подразделяются по содержанию серы на три группы: бессернистые (до 0,9%), сернистые (1,0—1,9%) и высокосернистые (более 1,9%); а прогнозные запасы свободного газа по содержанию H₂S — на: практически не содержащие сероводорода, содержащие его в количестве до 0,5% и свыше 0,5%.

Оценка прогнозных запасов конденсата производится путем умножения прогнозных запасов газа на среднее содержание в них стабильного конденсата

$$O_{кб} = \frac{qk}{10^6} Q_r \cdot K_{н},$$

где $O_{кб}$ — прогнозные запасы конденсата, т, qk — содержание стабильного конденсата, г/м³; Q_r — прогнозные запасы газа, м³; $K_{н}$ — коэффициент извлечения конденсата.

Несмотря на несовершенство приведенных методов оценки прогнозных запасов нефти и газа, они все же могут успешно использоваться для этой цели в сочетании с анализом всех геологических факторов, характеризующих перспективные нефтегазоносные области.

При оценке прогнозных запасов других полезных ископаемых принята следующая их группировка.

I группа. Прогнозные запасы по главнейшим месторождениям (эксплуатируемым, разведанным или находящимся в разведке), сверхучтенных по категории C₂.

II группа. Прогнозные запасы по месторождениям, которые могут быть выявлены в районах с уже известными промышленными месторождениями.

III группа. Прогнозные запасы по районам, в которых нет еще промышленных месторождений, но где по имеющимся геологическим предпосылкам они могут быть выявлены.

Прогнозные запасы оцениваются в целом по стране, союзным республикам, экономическим районам, рудным районам, бассейнам и наиболее крупным месторождениям, отдельно по промышленным типам руд с указанием среднего содержания в них основных полезных компонентов, глубины распространения и др.

Вопросы оценки прогнозных запасов нефти и газа, угля и горючих сланцев достаточно хорошо разработаны, и накоплен значительный опыт их прогнозирования как в нашей стране, так и за рубежом. Поэтому прогнозные запасы этих полезных ископаемых определяются более или

менее достоверно, особенно при сравнительно выдержанных условиях их залегания и приуроченности к определенным стратиграфическим горизонтам в пределах крупных площадей.

В какой-то мере эти методы могли быть применены и для оценки запасов других полезных ископаемых, в частности для запасов месторождений экзогенного происхождения и стратиформных месторождений. Между тем для многих полезных ископаемых (черных, цветных, благородных и редких металлов и ряда неметаллов), представленных преимущественно месторождениями эндогенного происхождения, до настоящего времени не разработаны критерии и методы количественной оценки прогнозных запасов, и в связи с этим приемы и методы прогнозирования, использованные различными организациями и экспертами, отличались большим разнообразием и, следовательно, различной степенью достоверности.

Надежным теоретическим фундаментом для оценки прогнозных запасов являются научные достижения в области изучения региональных и локальных закономерностей формирования и размещения промышленных месторождений полезных ископаемых. За последние 20 лет в этом отношении достигнуты существенные успехи. В результате проведенных геологоразведочных работ и весьма широких научных исследований значительно возросла степень геологической изученности всей территории страны и особенно основных горнопромышленных районов. Для большинства из них составлены средне- и крупномасштабные прогнозные карты, основанные на учете геологических особенностей районов и анализа взаимосвязи элементов тектоники, магматизма, литогенеза, палеогеографии и минерагении с привлечением данных о геологической изученности и опоскованности отдельных площадей, результатов шлихового опробования, металлометрических, геофизических и аэрогеологических исследований. По совокупности указанных факторов установлены благоприятные геологические предпосылки вероятного расположения новых перспективных зон, полей, а нередко и отдельных месторождений.

На прогнозных картах обычно выделяются три категории площадей, отличающихся по степени перспективности и очередности дальнейших исследований:

1) перспективные площади с широко проявленными признаками минерализации и благоприятными структурами — участки, примыкающие к промышленным месторождениям, месторождения и рудопроявления, требующие постановки поисково-разведочных работ;

2) площади, недостаточно изученные в отношении геологического строения и рудоносности, требующие для определения их промышленных перспектив опоскования или ревизионных работ;

3) площади не изученные, но с благоприятными общегеологическими предпосылками, подлежащие геологическому картированию в том или ином масштабе и тематическим исследованиям.

Только в крайне редких случаях составление прогнозных карт даже наиболее крупных масштабов сопровождается количественной оценкой запасов полезных ископаемых выделенных площадей, хотя без такой оценки вряд ли следовало считать проведенные исследования завершенными.

Оценка прогнозных запасов, несомненно, является весьма сложной задачей, посильной коллективам высококвалифицированных специали-

стов при анализе всех результатов геологических, геофизических и геохимических исследований. Современные методы интерпретации последних позволяют в отдельных случаях с высокой степенью достоверности произвести оценку прогнозных запасов полезных ископаемых. Достоверность оценки заметно возрастает, когда она базируется на результатах применения геологически обоснованного сочетания магниторазведочных, гравиразведочных, электроразведочных, сейсморазведочных и других геофизических методов с разнообразными геохимическими методами.

Магниторазведка в применении к любым магнитным рудам, гравиразведка — к рудам, обладающим избыточной плотностью, электроразведка, основанная на высокой электропроводности, самопроизвольной или вызванной поляризации сульфидных руд, радиометрия в применении к радиоактивным рудам и т. д. позволяют не только выявить залежи полезного ископаемого по создаваемому ими аномальному эффекту, но и определить их положение и контуры.

Тщательно изученная детальными комплексными геофизическими работами аномалия может указывать на вполне определенный тип вызвавшего ее оруденения. К числу таких рудных аномалий с достаточным основанием могут быть отнесены многие локальные, нередко совпадающие между собой, магнитные, электрические, радиоактивные или гравиметрические аномалии, особенно, если они приурочены к благоприятным геологическим структурам или расположены в пределах заведомо рудоносных зон. Во многих случаях их рудоносность подтверждается результатами геохимических исследований — радиометрических или металлометрических съемок.

Из геофизических методов наиболее применимы для определения запасов полезных ископаемых гравиразведка и магниторазведка, в значительно меньшей степени электроразведка. Из геохимических методов для подсчета запасов применяются металлометрия и радиометрия.

Для количественной интерпретации данных магниторазведки и гравиразведки разработано большое количество методов. Наиболее применимыми для подсчета запасов являются:

- методы интерпретации по аналитическим формулам (аналитические методы);
- графические методы;
- методы подбора;
- прямые (интегральные) методы.

Принятая группировка прогнозных запасов в основном отражает степень достоверности произведенной оценки. Обычно она бывает достаточно высокой для запасов, прогнозируемых в пределах рудных полей известных месторождений (I группа), менее достоверной для прогнозных запасов месторождений, которые могут быть открыты в районах с известными промышленными месторождениями (II группа), и весьма гипотетической для запасов районов, в которых промышленные месторождения еще не выявлены (III группа). Однако в пределах указанных групп степень достоверности оценок прогнозных запасов не является идентичной и зависит от степени геологической и геофизической изученности, характера и качества всех использованных материалов.

Достоверность всех групп прогнозных запасов находится в прямой зависимости от полноты учета рудоконтролирующих факторов и поисковых признаков, оценки их относительной значимости и информатив-

ности (особенно важнейших из них) и их оптимального сочетания и взаимодействия для формирования и локализации промышленных месторождений. Для полного учета и анализа всего комплекса указанных признаков, а также результатов проведения геологосъемочных, поисковых, разведочных, геофизических и геохимических работ, являющихся неотъемлемой частью научного прогноза, следует широко использовать математические методы обработки данных с применением принципов математической статистики. В последнее время успешно стали развиваться статистические методы прогноза с использованием факторного анализа, многомерных корреляций, байесовского подхода, разнообразных статистических критериев и других методов. Накапливается опыт решения прогнозных задач логико-информационными методами, основанными на использовании комбинаторики и математической логики.

При оценке прогнозных запасов в пределах рудных полей разведанных месторождений (I группа) обычно применяются методы экстраполяции или интерполяции. Достоверность производимой оценки в значительной мере обусловлена степенью познания геологических условий формирования месторождения, его внутренней тектоники и т. д.; результатами геофизических исследований и бурения единичных скважин; особенностями морфологии рудных залежей и их размерами.

Поскольку прогнозныe запасы этой группы в основном определены по крупным, обычно детально изученным в геологическом отношении месторождениям, оценка их отличается сравнительно высокой степенью достоверности. Рудные поля таких месторождений, как правило, освещены детальными геофизическими съемками в масштабах 1 : 10 000 и крупнее, а также специальными геофизическими работами, результаты которых интерпретируются с высокой степенью надежности.

Подсчеты прогнозных запасов железных руд Соколовского и Сарбайского месторождений, произведенные по геофизическим данным, впоследствии были подтверждены горно-буровыми работами с погрешностью $\pm 5-10\%$. Только по гравиметрическим данным прогнозныe запасы отдельных разведываемых хромитовых месторождений Донской группы были увеличены в десятки раз по сравнению с предварительной геологической оценкой, и последующими детальными разведками эти запасы были полностью подтверждены.

Более сложной является оценка прогнозных запасов в районах с известными промышленными месторождениями (II группа). Определение границ этих районов для большинства типов месторождений полезных ископаемых должно производиться с помощью структурно-формационного анализа, основанного на сочетании тектонического и формационного методов исследований. При этом под формациями понимаются естественные ассоциации групп промышленных месторождений полезных ископаемых с определенными комплексами горных пород, с которыми они находятся в тесной генетической или парагенетической связи.

При оценке прогнозных запасов месторождений эндогенного происхождения границы района определяются всей площадью развития интрузивных и эффузивных образований, вмещающих осадочный и метаморфогенный комплексы пород, а также площадью развития геологических структур, с которыми генетически и пространственно связано формирование и локализация прогнозируемых типов промышленной минерализации.

Применительно к месторождениям экзогенного происхождения контуры района определяются границами возможного распространения фациального типа продуктивных отложений, к которым приурочены известные в районе промышленные месторождения, при обязательном учете структурно-тектонических, палеогеографических, и других рудо-контролирующих факторов.

В пределах выделенных районов на основе установленных закономерностей формирования и размещения промышленных месторождений, учета степени эрозийного среза и его влияния на сохранность оруденения определяются наиболее перспективные площади, прогнозные запасы которых оцениваются преимущественно двумя методами: вероятностно-статистическим и аналитико-синтетическим.

По первому методу значения параметров статистических распределений запасов известных в районе месторождений используются для оценки вероятности выявления на смежных площадях этого же минералогического района месторождений, аналогичных промышленно-генетическим с заранее заданными запасами.

Второй метод более сложен, но и более достоверен. Он заключается в глубоком и всестороннем изучении, анализе и синтезе всех поисковых признаков и всех факторов, обусловивших формирование и локализацию промышленных месторождений в районе, и в последующей оценке возможности их обнаружения на прогнозируемых площадях.

Наиболее сложным и трудоемким при этом является выделение ведущих факторов и поисковых признаков или их оптимальных сочетаний, определяющих принципиальную возможность выявления промышленных месторождений данного типа, которая обычно носит эвристический характер, в значительной мере основанный на опыте и интуиции геолога, познаний геолого-генетической модели промышленного типа прогнозируемых месторождений.

Анализ информативности геологических факторов и поисковых признаков их интегрирования, оценки рудоносности прогнозируемых площадей с успехом могут быть осуществлены при помощи ЭВМ на основе заданных программ распознавания образов, методов корреляционного, регрессивного и дискретного анализов. Оценка запасов в пределах выделенных площадей производится с учетом коэффициента рудоносности и соответствующих ему средних мощностей и средних содержаний, значения которых получены на аналогичных уже разведанных участках рудных полей или месторождений. Степень достоверности этой оценки, естественно, значительно повышается при использовании данных шлихового опробования, металлотрических и комплексных геофизических исследований масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000.

Поскольку выходы рудных тел обычно частично или полностью перекрыты с поверхности продуктами выветривания, результаты металлотририи позволяют оценивать масштаб оруденения еще до производства горно-буровых работ или при минимальном их объеме.

Для количественной интерпретации вторичных ореолов рассеяния используются результаты детальной металлотрирической съемки в масштабе 1 : 10 000 и крупнее в ее обычном (наземном) или глубинном вариантах.

Количественная интерпретация результатов металлотририи основана на существовании прямой пропорциональности между параметрами вторичных остаточных ореолов (и потоков) рассеяния и парамет-

рами выхода рудного тела на уровень денудационной поверхности, которая математически выражается простой формулой (Соловов, 1970).

$$q = kq_{рт},$$

где q — количество металла в ореоле для слоя мощностью 1 м, t ; $q_{рт}$ — количество металла, заключенное в таком же метровом слое рудного тела на его выходе, t ; k — местный коэффициент пропорциональности.

Определив значение q , можно подсчитать прогнозные запасы металла по формуле

$$Q_H \approx \frac{1}{k} qH,$$

где H — целесообразная глубина подсчета, м.

Гравитационная аномалия, детально изученная и оконтуренная высокоточными съемками, даже если рудная природа ее подтверждена только одной скважиной, шурфом или канавой или даже только ореолом рассеяния соответствующего металла, при поисках медноколчеданных, богатых свинцовых, марганцевых или хромитовых руд уже дает основание для подсчета их прогнозных запасов.

Наибольшую трудность представляет оценка прогнозных запасов полезных ископаемых в районах, где еще не выявлены промышленные месторождения (III группа), особенно, если в их пределах даже не обнаружены рудные проявления определенных типов промышленных месторождений. Выделение таких районов и определение их границ должно производиться на основании формационного анализа, а также глубокого анализа взаимосвязи элементов тектоники, магматизма, литогенеза, данных шлихового опробования, металлометрических, геофизических, аэромагнитных съемок, палеогеографических и других особенностей прогнозируемой территории и сходных территорий с известными промышленными месторождениями.

Основным приемом определения прогнозных запасов в этих районах остается метод простой аналогии, т. е. сугубо ориентировочный подсчет запасов путем изучения статистического распределения месторождений и установления коэффициента рудоносности или плотности оруденения в хорошо изученном сходном или тождественном по минералогическим признакам районе. Метод субъективен, основан на применении системного анализа и возможности использования в основном индуктивных приемов и эмпирических данных. Он во многом зависит от степени изученности в прогнозируемом районе наиболее существенных прямых и косвенных факторов и признаков возможного проявления промышленного оруденения и особенно от правильной их параллелизации с факторами и признаками, установленными в сопоставляемых районах.

Здесь необходимо особенно широко использовать региональные геофизические исследования, съемки масштабов 1 : 200 000—1 : 500 000 и мельче, проведенные с целью изучения глубинного геологического строения и структурно-металлогенического районирования территорий, выделение перспективных участков для выявления месторождений различных полезных ископаемых, выделение рудоконтролирующих интрузивных комплексов, прослеживание благоприятных для размещения оруденения формаций, перекрытых современными отложениями, выде-

ление крупных площадей (районов, поясов, узлов) развития рудной минерализации.

Количественные прогнозы на этапе поисковых металлометрических съемок в горных, хорошо расчлененных районах в принципе можно делать и по результатам исследования потоков рассеяния месторождений в масштабе 1 : 50 000—1 : 200 000. Теоретические соображения и опыт подобных работ (Соловов, 1970) позволяют для количественной интерпретации потоков рассеяния вычислять их продуктивность по формуле

$$P^1 = S_x (C_x^1 - C_\phi^1),$$

где S_x — площадь водосбора (бассейна денудации) для данной точки опробования, м²; C_x^1 — содержание металла в этой точке, %; C_ϕ^1 — местное фоновое содержание этого металла в аллювии, %.

Исходя из пропорциональной зависимости между продуктивностью потока рассеяния — p^1 и продуктивностью развитых в его бассейне денудации вторичных ореолов рассеяния p , можно по устойчивым значениям P^1 найти величину p из выражения

$$p = \frac{1}{k^1} p^1,$$

где $k^1 \geq 1$ — местный коэффициент пропорциональности, значение которого определяется из опыта работ.

А поскольку величины p и q связаны между собой простой зависимостью

$$q = \frac{pd}{100} = \frac{p}{40},$$

где d — объемная масса пород, для простоты принимаемая равной 2,5 т/м³ (деление на 100 производится для перехода от процентов к тоннам металла), то найденные значения ожидаемой продуктивности ореолов рассеяния p при наличии геологического обоснования могут быть использованы для подсчета прогнозных запасов металла по приведенной выше формуле подсчета Q_H . Значениями q или Q_H в этом случае, как и при интерпретации вторичных ореолов рассеяния, можно приближенно характеризовать только масштаб рудопроявлений на уровне современной денудационной поверхности.

Характерный пример использования результатов геофизических съемок мелких масштабов (1 : 200 000—1 : 500 000) для оценки прогнозных запасов штокверковых месторождений молибдена и вольфрама по методу геологической аналогии приведен в работе А. П. Соловова (1970). Размещение этих месторождений на территории Центрального Казахстана и в ряде других районов обнаруживает почти постоянную приуроченность их к локальным минимумам гравитационного поля, обусловленную генетической связью этих месторождений с массивами лейкократовых гранитов, обладающих пониженной плотностью по сравнению с вмещающими породами. По результатам региональных гравиметрических съемок в пределах выделенного района (или какой-либо его части) можно установить большое число локальных гравитационных минимумов, по геологическому положению отвечающих условиям потенциальной рудоносности. Подсчитав общее число n локальных гравитационных минимумов, можно выделить среди них m участков, детально изученных, и p — m участков, заслуживающих изучения.

Обозначим $\sum Q$ — общее количество промышленных запасов металла, учтенных по m изученным участкам. Тогда прогнозные запасы $Q_{\text{прогн}}$ остальных участков в первом приближении можно оценить с помощью простой пропорции:

$$Q_{\text{прогн}} : \sum Q = (n - m) : m.$$

При этом следует иметь в виду, что приближенный подсчет по принципу пропорциональности предполагает учет относительно большого общего числа участков, привлекаемых к рассмотрению (например, $m = 30-40$, $(n - m) > (30-40)$). При малом их числе, а также для учета роли крупных месторождений, не подчиняющихся закону больших чисел, обязательным элементом исследования становится анализ упомянутых выше статистических зависимостей, в частном случае, при $m \leq 9$, — с помощью распределения Пуассона.

При количественной оценке прогнозных запасов никеля и кобальта с успехом могут быть использованы результаты магниторазведочных (воздушных и наземных), гравиразведочных и электроразведочных работ, а на открытых и полузакрытых площадях — данные лито-химической съемки. Интрузии ультраосновных и основных пород, с которыми связаны месторождения этих металлов, обычно четко картируются по магнитным аномалиям интенсивностью от 300 до 3500 γ и более, по локальным аномалиям Δg гравитационного поля, а также по зонам повышенных сопротивлений (до 2000 Ом).

При выделении перспективных площадей для прогнозной оценки запасов III группы существенное значение могут иметь результаты аэрогамма-спектрометрических определений урана (радия), тория и калия, основанных на измерении спектрального состава естественного гамма-излучения горных пород с помощью аппаратуры, установленной на борту самолета.

По данным В. П. Воробьева и А. В. Ефимова (1971):

— редкометалльные месторождения в апогранитах и щелочных метасоматитах выделяются с воздуха интенсивными изометрическими аномалиями урановой и ториево-урановой природы;

— по повышенным содержаниям тория и урана четко оконтуриваются рудоносные гранитные массивы, залегающие среди сланцевых толщ, а иногда и среди более древних гранитоидов;

— оруденелые грейзены отмечаются интенсивными локальными аномалиями урановой, ториево-урановой или, реже, ториевой природы;

— рудные поля оловянных месторождений касситерит-сульфидной и касситерит-силикатной формаций фиксируются в виде линейных или изометрических аномалий калия и тория при фоновом содержании урана;

— штокверковые месторождения золота и молибдена оконтуриваются по аномально высоким содержаниям калия;

— эпитермальные вулканогенные месторождения золота, приуроченные к участкам интенсивной адуляризации эффузивов, характеризуются контрастными аэрогамма-спектрометрическими аномалиями существенно калиевой природы.

Выделение перспективных площадей по данным аэрогамма-спектрометрической съемки может производиться по картам содержаний урана, тория и калия (в случае большой интенсивности аномалий), или с применением математических, в первую очередь вероятностно-статистиче-

ских, методов. При этом выделяются участки метасоматически измененных пород, контролирующих рудную минерализацию, размером от долей квадратного километра до 8—10 км².

Исследования по оценке прогнозных запасов полезных ископаемых II и III групп должны завершаться определением количества месторождений того или иного морфогенетического типа и их суммарных запасов, которые могут быть выявлены на прогнозируемой территории.

Недостатком существующих методов и приемов качественного и количественного прогнозирования является невозможность оценить с их помощью вероятность обнаружения весьма крупных и уникальных месторождений, поскольку специфические геологические условия их формирования до настоящего времени не установлены. Поэтому, хотя именно такие месторождения вносят коренные изменения в состояние минерально-сырьевой базы и являются важнейшей ее основой, оценку прогнозных запасов приходится основывать на вероятности выявления не весьма крупных и уникальных, а средних и крупных месторождений.

Прогнозные запасы сравнительно небольших месторождений могут учитываться только при особо благоприятных для промышленного освоения экономических условиях. В районах, слабо освоенных, отдаленных от путей сообщения, значение могут иметь преимущественно крупные месторождения с благоприятными горнотехническими и экономическими условиями разработки.

При оценке прогнозных запасов необходимо принимать в расчет:

— предельные глубины разработки подземным и открытым способом и;

— предельные минимальные мощности рудных залежей;

— предельные минимальные содержания полезных компонентов в рудах;

— возможность технологической переработки и использования руд.

Основные параметры ныне разведанных и разрабатываемых в Советском Союзе и за рубежом морфогенетических типов промышленных месторождений важнейших твердых полезных ископаемых приведены в первой части настоящей работы, при обзоре главнейших ресурсов мира по разным видам полезных ископаемых; на них можно ориентироваться при оценке запасов прогнозируемых месторождений.

Следует иметь в виду, что в последнее время неуклонно возрастает глубина разработки месторождений полезных ископаемых. В известном золотоносном районе Витватерсранд в Южно-Африканской Республике в ряде рудников добыча производится на глубинах, превышающих 3000 м, а глубина одного из них достигла 3900 м. Золоторудная жила месторождения Кола в Индии отработана до глубины 3231 м, а очистные работы на золоторудном месторождении Грейт-Боулдер в Западной Австралии производятся на глубине 1200 м.

Увеличение глубины разработок характерно и для месторождений других полезных ископаемых. Так, на медноколчеданных месторождениях Норанда и Флин-Флон в Канаде горные выработки достигли глубины 2000 и 1500 м соответственно, на месторождении Юнайтед-Верде в США — 1800 м и на месторождении Матамбра на Кубе — 1200 м. Очистные работы на уникальном жильном месторождении меди Бьют в США производятся на глубине, превышающей 1500 м, на месторождении медно-никелевых руд Садбери в Канаде — на глубинах 1300—1500 м, на месторождениях самородной меди оз. Верхнего в США — 1600 м, на месторождениях медистых песчаников Роан-Антелоп в Зам-

бии — 1232 м и Мансфельд в ГДР — 800 м, на месторождениях полиметаллических руд Кер-д'Ален в США — более 1200 м. Добыча богатых железных руд в Криворожском бассейне, вероятно, уже в ближайшее время будет вестись на глубине 1800—2000 м. Маломощные оловорудные жилы Боливии разрабатываются на глубинах, нередко превышающих 600 м.

Возрастает и глубина разработки месторождений открытым способом. На одном из крупнейших месторождений меднопорфировых руд Бингем в США глубина карьера превышает 760 м и, вероятно, в будущем увеличится еще больше.

В Советском Союзе на большую глубину запроектированы карьеры на ряде месторождений железных руд (Ингулецкое — 300 м, Соколовское — 432 м, Коршуновское — 560 м, Сарбайское — 630 м, Качарское — 723 м) и медных (Гайское — 380 м, Коунрадское — 395 м, Николаевское — 400 м, Сибавское — 440 м). Для Баженовских асбестовых карьеров приняты глубины 500 и 680 м.

При оценке прогнозных запасов твердых полезных ископаемых (кроме угля) принято исходить из современных требований промышленности к качеству сырья и горнотехническим условиям разработки месторождений (глубины, доступные современным методам добычи), т. е. пользоваться кондициями, предъявляемыми к балансовым запасам; поэтому значительная часть прогнозных запасов, не отвечающая этим кондициям вследствие низкого содержания полезного компонента, малой мощности залежей, сложности условий эксплуатации, отсутствия экономически рентабельных методов переработки, часто не учитывается. Действительно, как и забалансовые запасы разведанных месторождений, они не пригодны для использования промышленностью в настоящее время, однако могут рассматриваться как объекты промышленного освоения в будущем при более высоком уровне техники или иных экономических условиях.

Следует также учитывать, что большая часть прогнозных запасов полезных ископаемых, очевидно, будет вовлечена в промышленное освоение за пределами ближайших 15—20 лет, когда в связи с техническим прогрессом в добыче, обогащении, переделе и использовании минерального сырья, несомненно, произойдут существенные изменения в требованиях к нему, способах его переработки, областях применения и структуре потребления.

Следует ожидать, что отмеченные в последнее время тенденции к росту доли открытого способа эксплуатации и увеличению глубин отработки месторождений, к развитию различных методов подземного выщелачивания, в том числе микробиологических, не только сохранятся в будущем, но будут еще развиваться.

Технический прогресс в добыче и переработке минерального сырья и связанное с ним развитие более экономичных способов разработки месторождений позволили в последнее время значительно расширить использование промышленностью бедных руд и руд сложного состава, добывать минеральное сырье с больших глубин. Общие запасы меди в США, например, увеличились с 27 млн. т на начало 1961 г. до 80 млн. т на начало 1975 г., а достоверные и вероятные запасы — соответственно с 21 до 69 млн. т в основном благодаря снижению требований к содержанию меди в меднопорфировых рудах. В настоящее время среднее содержание меди в разведанных и освоенных промышленностью месторождениях США составляет 0,8%, и, по мнению амери-

канских специалистов, дальнейший прирост запасов будет осуществляться преимущественно за счет разведки бедных руд. В ближайшие годы, полагают они, среднее содержание меди в разведанных рудах снизится до 0,5—0,6, при этом достоверные и вероятные запасы увеличатся в 2—3 раза. Предполагается, что к 2000 г. окажется рентабельной добыча меднопорфировых руд, содержащих 0,25% меди.

В Канаде в связи с вовлечением в переработку более бедных руд среднее содержание меди снизилось с 1,4% в 1965 г. до 0,87% в 1970 г. Тем не менее получаемые из этих руд концентраты содержат в среднем 27,2% металла при извлечении 90%.

Несмотря на неуклонное снижение содержания меди в добываемых рудах в большинстве стран, технико-экономические показатели медедобывающей промышленности не только не ухудшились, но даже несколько улучшились. Этому способствовали крупные масштабы разработки месторождений и значительное повышение уровня механизации и автоматизации основных и вспомогательных работ по добыче, транспортировке и обогащению руд, применение более производительного оборудования и новых взрывчатых веществ и в особенности рост удельного веса открытого способа добычи руды. В СССР этим способом добывается более 82% меди и 64% цветных металлов в целом.

Большие перспективы использования бедных руд и руд, залегающих на больших глубинах в сложных горнотехнических условиях разработки, связаны с внедрением методов подземного выщелачивания. Так, несколько крупных предприятий по добыче калийных солей этим методом создано в Канаде, где пласты соли залегают на глубинах 700—1100 м. Строительство аналогичного предприятия намечено в Великобритании. Почти вся добыча самородной серы в США и Мексике осуществляется по методу Фраша, основанному на подземной выплавке ее паром или горячей водой. В Канаде и в США с большим экономическим эффектом методом подземного выщелачивания добывается уран.

Весьма перспективными представляются микробиологические методы выщелачивания, уже нашедшие в ряде стран практическое применение. Исследованиями доказано, что бактерии могут применяться для выщелачивания руд меди, цинка, никеля, мышьяка, кобальта, кадмия, титана, алюминия, селена, теллура, рения, олова, урана, золота.

Наиболее хорошо разработана технология микробиологического выщелачивания меди из сульфидных минералов путем ее «вымывания» из руд или отвалов раствором, содержащим сульфат окиси железа, серную кислоту и тионовые бактерии. В США насчитывается 11 предприятий, использующих микроорганизмы для добычи меди; аналогичные предприятия действуют в Мексике, Австралии, Испании, Португалии и ряде других стран.

Очевидно, при оценке прогнозных запасов полезных ископаемых не следует исходить только из ныне существующих кондиций, но надо учитывать и вероятные их изменения, обусловленные техническим прогрессом в добыче, обогащении и потреблении минерального сырья. При этом среди общих прогнозных запасов, как это принято делать при оценке прогнозных запасов угля, следует выделять:

а) кондиционные запасы, отвечающие нормативам, принятым для подсчета балансовых запасов, и в том числе запасы, представляющие интерес для вовлечения в разведку и промышленное освоение в первую очередь;

б) некондиционные запасы, отвечающие современным требованиям к забалансовым запасам.

Уточнения и переоценка прогнозных запасов должны производиться систематически, по мере получения новых данных о критериях рудоносности и результатах поисковых и геологосъемочных работ и научных исследований.

Основные изменения в оценке прогнозных запасов по сравнению с ранее произведенной оценкой должны быть обоснованы в объяснительной записке, сопровождаемой картой размещения прогнозных запасов по группам прогноза.

В записке должны быть отражены:

— характеристика исходных материалов, использованных для оценки прогнозных запасов;

— принятые для оценки запасов кондиции по качеству руд и горно-геологическим условиям их отработки;

— методология и конкретные приемы количественной оценки прогнозных запасов полезных ископаемых (с приведением конкретных случаев интерполяции и экстраполяции запасов и других видов расчетов);

— геологическое, геофизическое и геохимическое обоснование прогнозных запасов; количество и характер проявления прямых и косвенных признаков оруденения; принятые представления о закономерностях формирования и размещения полезных ископаемых;

— авторская оценка точности произведенной оценки прогнозных запасов полезных ископаемых, полноты учета рудоконтролирующих факторов и поисковых признаков, их относительной значимости и информативности;

— наиболее перспективные месторождения и районы, заслуживающие первоочередной постановки геологоразведочных работ; возможности выявления в пределах рассматриваемой территории крупных и уникальных месторождений отдельных видов сырья;

— экономическая оценка прогнозируемых промышленных типов месторождений: количество месторождений данного типа, ожидаемые средние запасы, удельные затраты на перевод их в разведанные, производительность горного предприятия, приведенные затраты на производство единицы конечного продукта ($\Pi_3 = c + ek$), где c — себестоимость единицы продукта; k — удельные капиталовложения производственного назначения; e — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Предположительный подход и косвенные методы количественной оценки прогнозных запасов определяют их ориентировочный характер и неизбежный оттенок субъективности. Но вместе с тем они все же служат необходимой предпосылкой при выборе направлений геологоразведочных работ, ориентировочной оценке возможного роста разведанных запасов и перспективного развития минерально-сырьевой базы добывающей промышленности. Разработка более современных методов количественной оценки прогнозных запасов важнейших полезных ископаемых является актуальной задачей геологических институтов.

- Антропов П. Я.* Топливо-энергетический потенциал Земли. М., ВНИИТИ, 1974. 263 с. с ил.
- Арсенев А. А., Вировлянский Г. М., Смирнов Ф. Л.* Генетические типы промышленных месторождений апатита. М., «Недра», 1971. 237 с.
- Балиев С. А.* Исследование геологических закономерностей размещения и развития минерально-сырьевой базы нефтяной промышленности капиталистических и развивающихся стран. Автореф. канд. дисс., 1974. 19 с.
- Бирюков В. С.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Железные руды. М., ВИЭМС, 1970. 66 с. с ил.
- Быбочкин А. М.* Месторождения вольфрама и закономерности их размещения. М., «Недра», 1965. 236 с. с ил.
- Быховер Н. А.* К вопросу о генезисе рудоносных конгломератов и медистых песчаников.— В кн.: Металлогения осадочно-метаморфических пород. М., «Наука», 1966, с. 33—81 с ил.
- Быховер Н. А.* Экономика минерального сырья (топливно-энергетическое сырье, руды черных и легирующих металлов). М., «Недра», 1967. 368 с. с ил.
- Быховер Н. А.* Экономика минерального сырья (цветные и благородные металлы, горнотехническое и горно-химическое сырье). М., «Недра», 1969. 413 с. с ил.
- Быховер Н. А.* Экономика минерального сырья. (Состояние и перспективы обеспечения мировой потребности в минеральном сырье). М., «Недра», 1971. 192 с. с ил.
- Быховер Н. А.* Основные принципы и методы прогноза минеральных ресурсов. Обзор. Серия: Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. М., ВИЭМС, 1971. 39 с.
- Быховер Н. А.* Количественная оценка прогнозных запасов твердых полезных ископаемых.— «Разведка и охрана недр», 1972, № 10, с. 16—21.
- Быховер Н. А.* Способы оценки прогнозных запасов твердых полезных ископаемых. Обзор. Серия: Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. М., ВИЭМС, 1973. 39 с.
- Воробьев В. П., Ефимов А. В.* Аэрогамма-спектрометрия при крупномасштабном прогнозировании рудных месторождений.— В кн.: Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых (Материалы к совещ. 14—17 декабря 1971 г.). Л., 1971, с. 133—136.
- Донченко К. Б.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Калийные соли. М., ВИЭМС, 1970. 35 с. с ил.
- Запасы углей и горючих сланцев СССР.* М., Госгеолтехиздат, 1958. 86 с.
- Каганович С. Я.* Экономика минерального сырья. М., «Недра», 1975. 333 с.
- Каплан А. А.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Плавленый шпат. М., ВИЭМС, 1970. 35 с. с ил.
- Кирпаль Г. Р.* Особенности промышленной оценки месторождений бокситов Среднего Тимана.— «Разведка и охрана недр», № 2, 1974, с. 11—16.
- Киперман Ю. А., Недогов А. В., Тимченко А. И.* Экономика фосфатного сырья зарубежных стран. М., «Химия», 1973. 112 с.
- Кочуров В. Б., Гросман Э. Д.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Свинец и цинк. М., ВИЭМС, 1971. 41 с. с ил.
- Кузнецов К. М.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Хромиты. М., ВИЭМС, 1970. 35 с. с ил.
- Кузьмин В. Г.* Опыт разведки рудных столбов Западно-Палаянского месторождения ртуть.— «Разведка и охрана недр», 1971, № 9, с. 15—19.
- Кусочкин В. И.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Никель. М., ВИЭМС, 1970. 50 с. с ил.
- Лещенко И. И., Кожанов С. И., Оськина В. Д.* Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Сурьма и ртуть. М., ВИЭМС, 1970. 29 с. с ил.

Меркулова М. Е. Железородная провинция Хамерсли в Западной Австралии.— «Разведка и охрана недр», № 10, 1971, с. 59—62.

Меркурьев Н. Д. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Хризотил-асбест. М., ВИЭМС, 1970. 40 с. с ил.

Методические указания к разработке государственных планов развития народного хозяйства СССР. М., «Экономика», 1974, с. 319—324 (Госплан СССР).

Методическое руководство по количественной оценке перспектив нефтегазоносности. Проект. М., 1973. 90 с.

Методика оценки прогнозных запасов ископаемых углей. Изд. Постоянной комиссии СЭВ по геологии, 1966. 16 с.

Наумова Н. Э., Киперман Ю. А., Мирошниченко П. З. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Фосфориты. М., ВИЭМС, 1971. 18 с.

Перваго В. А. Условия формирования и геологическая оценка промышленных типов месторождений цветных металлов. М., «Недра», 1975. 271 с.

Преображенская Г. С., Клычева Н. Ю., Иванова К. П. Геологические закономерности распространения крупных месторождений нефти и газа в СССР. Л., «Недра», 1971. 175 с.

Серебряков В. А., Дежин Ю. П., Сечевица А. М. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Олово. М., ВИЭМС, 1971. 50 с. с ил.

Сластушенский Г. М. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Медь. М., ВИЭМС, 1972. 50 с. с ил.

Соловов А. П. Оценка прогнозных запасов на основе комплексных геофизических данных.— В кн.: Геофизические поиски рудных месторождений. Алма-Ата, 1970, с. 120—131 (Казфилиал ВИРГ, Каз. геофиз. трест).

Федорчук В. П. Генетические и промышленные типы месторождений сурьмы.— «Разведка и охрана недр», 1974, № 8, с. 4—12.

Федорчук В. П. Критерии перспективной оценки ртутоносности.— «Разведка и охрана недр», 1971, № 10, с. 7—13.

Хрущова М. М. Сравнительная геолого-экономическая характеристика промышленных типов месторождений полезных ископаемых. Вольфрам. М., ВИЭМС, 1975. 36 с. с ил.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИИ ВАЖНЕЙШИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	5
Нефть и газ	5
Уголь	14
Железные руды	24
Марганцевые руды	39
Хромиты	45
Никель	49
Молибден	62
Вольфрам	68
Бокситы	78
Медь	89
Свинец и цинк	115
Олово	128
Ртуть	141
Сурьма	150
Фосфатное сырье	155
Калийные соли	166
Плавиновый шпат	174
Хризотил-асбест	184
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПРОГНОЗА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ	193
Прогноз перспективной народнохозяйственной потребности в минеральном сырье и продуктах его переработки. Прогноз развития горнодобывающей промышленности	196
Определение основных направлений и объемов геологоразведочных работ	203
Прогноз научно-технического прогресса в геологоразведочных работах	207
Оценка прогнозных запасов и их экономическая характеристика	210
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	230

ИБ № 266

НОСОН АРОНОВИЧ БЫХОВЕР

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Редактор издательства Л. М. Старикова
Переплет художника В. М. Лукьянова
Художественный редактор В. В. Евдокимов
Технический редактор Л. Я. Голова
Корректор Л. М. Кауфман

Сдано в набор 7/VI 1977 г. Подписано в печать 25/X 1977 г. Т-18352.
Формат 70×100¹/₁₆. Бумага № 2. Печ. л. 14,5. Усл. п. л. 18,7.
Уч.-изд. л. 19,17. Тираж 1800 экз. Заказ № 317/5618—14. Цена 3 р. 40 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.

2318

3540c

1871