

В. А. ЛАРИЧКИН

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ
ТИПЫ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
РЕДКИХ
МЕТАЛЛОВ**

В. А. ЛАРИЧКИН

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

(олова, вольфрама, молибдена)

4493



МОСКВА «НЕДРА» 1985

Ларичкин В. А. Промышленные типы месторождений редких металлов (олова, вольфрама, молибдена). — М.: Недра, 1985. 175 с., ил.

Предложена принципиальная схема группировки промышленных типов месторождений редких металлов, выделенных на формационной основе. Дана сравнительная характеристика промышленных типов месторождений олова, вольфрама и молибдена.

Выявлены три группы геолого-экономических критериев для редкометалльного оруденения: прогнозные, поисковые и оценочные, соответствующие масштабам геологических объектов и стадиям геологоразведочных работ.

Для геологов производственных и научно-исследовательских организаций. Табл. 19, ил. 52, список лит. — 42 назв.

Рецензент: — *М. Н. Денисов* д-р геол.-минер. наук, Всесоюзный научно-исследовательский институт экономики минерального сырья и геологоразведочных работ.

В настоящее время проблема обеспечения мирового хозяйства природными ресурсами вышла за рамки проблемы отдельных государств, приобрела всеобщий характер и заняла важное место во внутренней и внешней политике многих стран мира. В ближайшем будущем актуальные вопросы состояния минерально-сырьевой базы, ее дальнейшего развития, освоения ресурсов Мирового океана, охраны недр и окружающей природной среды будут оказывать все более заметное влияние на жизнь каждого народа, на всю систему международных отношений.

Проблема обеспечения минеральным сырьем как мирового производства в целом, так и производств отдельных стран обусловлена ныне сложным сочетанием политических, социально-экономических, горно-технологических и других факторов. В связи с этим автор счел необходимым кратко рассмотреть наиболее важные вопросы состояния минерально-сырьевой базы мирового хозяйства, в том числе тенденции ее развития и использования, обеспеченность полезными ископаемыми, а также принципы систематики и учета минерально-сырьевых ресурсов. По мнению автора, проделанная работа позволит более целенаправленно подойти к дальнейшей разработке методологии прогноза, поисков, разведки и геолого-экономической оценки природных скоплений полезных ископаемых в земной коре.

Неуклонный рост потребления полезных ископаемых в мировом производстве predetermined резкое возрастание объемов геологоразведочных работ, что, в свою очередь, обусловило соответствующее увеличение объема информации о геологии и экономике минерального сырья. В последние годы выявлены и изучены новые типы оруденения. В связи с изменением конъюнктурных требований к полезным ископаемым изменился и подход к геолого-экономической оценке месторождений, произошли качественные сдвиги в технологии добычи и переработки минерального сырья, усилилось внимание к рациональному и комплексному использованию руд, охране недр и окружающей природной среды. Все это не могло не вызвать дальнейшего совершенствования классификации ресурсов (запасов) полезных ископаемых, а также методологии их учета.

С 1927 г. (со времени появления в нашей стране первой классификации запасов полезных ископаемых) произошли крупные изменения в структуре систематики, характеристике и требованиях к степени изученности ресурсов минерального сырья. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, опубликованная в 1981 г., положила начало новому этапу повышения качества подготовки минерально-сырьевой базы СССР. В классификации сохранены основные принципы

предыдущих классификаций, однако предусмотрен и ряд новых важных положений.

Впервые в отечественной и зарубежной практике для количественной и качественной оценки ресурсов и запасов различных категорий находят применение четко разграниченные представления о генетических, формационных и промышленных типах оруденения. Так, при оценке ресурсов категории P_3 используется понятие о генетических типах месторождений, категории P_2 — о формационных (или генетических) типах; при оценке ресурсов категории P_1 и запасов категорий C_2 , C_1 , В и А представления о промышленных типах месторождений.

В работе сформулированы представления о генетических, формационных и промышленных типах месторождений редких металлов; предложены основные принципы обоснования и выделения промышленных типов месторождений олова, вольфрама и молибдена на основе их генетических и формационных особенностей, а также экономических факторов; дана сравнительная характеристика выделенных типов промышленного оруденения. Одновременно обоснованы и выделены критерии прогноза, поисков и оценки применительно к промышленным типам оловянных, вольфрамовых и молибденовых месторождений. Указанные критерии соответствуют масштабам геологических объектов и стадиям геологоразведочных работ. По мнению автора, такое направление в геологической науке и практике в настоящее время наименее разработано.

Автор выражает искреннюю признательность А. М. Быбочкину, М. Н. Денисову, Н. П. Лаверову, В. И. Ларичкиной, С. Ф. Лугову, В. Н. Полуэктову, И. Н. Томсону и В. П. Федорчуку за полезные советы и замечания.

Основные проблемы использования минерального сырья в мировом хозяйстве

Буржуазная политическая экономия уделяет исключительное внимание проблеме обеспеченности минерально-сырьевыми ресурсами. Прогнозы как на ближайшее, так и на более отдаленное время стали предметом специального изучения во многих международных организациях, в том числе в таких научных центрах, как Римский клуб, Человечество в 2000 г., Всемирная федерация исследований будущего и ряд других. Сложность минерально-сырьевой проблемы обусловила глубокие различия интересов государств в этой области, а также противоречия в предлагаемых зарубежными экономистами методах и средствах решения. Изучение тенденций расширения и освоения минеральных ресурсов, эволюции их классификаций и учета приобрело сегодня не только теоретическое, но и большое практическое значение.

Обеспеченность мирового производства минеральным сырьем

Кризис ресурсопользования породил в капиталистическом мире множество разноречивых концепций, которые более или менее четко формируют два главных экстремальных, полярных направления в немарксистских исследованиях всемирного хозяйства [21]:

1) «социально-экологический пессимизм», развивающий идеи противоречий между дальнейшим существованием общества и научно-технической революцией (ее социально-экономическими последствиями) и провозглашающий несовместимость безудержного роста народонаселения с абсолютно ограниченными сырьевыми ресурсами планеты;

2) «технократический оптимизм», который наделяет научно-технический прогресс ролью естественного спасителя природы, фетишизирует автоматизм и воспекает всемогущество системы «наука — техника — производство», умножающей будто бы и без того безграничные возможности природы.

Угроза «физического истощения недр Земли» и общей нехватки минерального сырья в будущем не раз обсуждалась в экономической литературе зарубежных стран. При этом высказывались весьма пессимистические соображения о том, что запасы многих важнейших видов полезных ископаемых (в том числе олова, вольфрама и молибдена) будут исчерпаны уже в XX в. Прямые или косвенные призывы об ограничении потребления минерального сырья путем замедления экономического развития мирового хозяйства и

прироста народонаселения были характерны для представителей Римского клуба (Д. Форрестер, Д. Медоуз, Р. Дюмон и др.).

Однако такой подход к трактовке проблемы обеспечения минеральным сырьем не нашел широкой поддержки среди зарубежных экономистов. И. Кайи и И. Судзуки, Я. Тинберген, группа экспертов ООН во главе с американским экономистом В. Леонтьевым и другие ученые считают, что причины обострения проблемы — рост производительных сил и неизбежное сокращение относительно легкодоступных дешевых источников сырья, а не абсолютное физическое истощение минеральных ресурсов. В то же время ими выражается озабоченность по поводу последствий вовлечения в хозяйственный оборот месторождений более бедных руд, расположенных в отдаленных и труднодоступных районах и требующих одновременного вложения затрат на их освоение.

По-иному освещается сырьевая проблема в прогнозах, разработанных буржуазными учеными с позиций «технократического оптимизма», где не ставятся вопросы сдерживания экономического роста. Наиболее последовательно это направление рассматривается в докладе, подготовленном группой американских специалистов под руководством Г. Кана. Надеясь, что современный капитализм способен к гармоничному техническому прогрессу, группа Г. Кана фактически снимает с повестки дня сырьевую проблему и безапелляционно заявляет о том, что материальные потребности человечества могут быть легко удовлетворены на неопределенно долгий период за счет безграничных природных ресурсов с учетом возможных достижений науки и техники. Г. Кан пришел к выводу, что все беды капитализма и любые пределы роста вытекают скорее из психологических, культурных или социальных ограничений спроса, чем из фундаментальных физических границ имеющихся ресурсов.

Американский исследователь Д. Габор также считает, что проблема обеспечения человечества сырьевыми ресурсами состоит не в «истощении недр Земли», а в недостаточно полном использовании возможностей научно-технического прогресса. Он связывает остроту создавшегося положения с социально-экономическим механизмом ресурсопользования, с непозволительным расточительством ресурсов планеты, что является следствием потребительского характера индустриального общества и расходования огромных объемов сырьевых ресурсов на военные цели. Один из выводов проведенных Д. Габором исследований — необходимость пересмотра социально-политических целей, перехода к более сбалансированному социально-экономическому развитию, совершенствования системы принятия решений в использовании природных ресурсов, усиления внимания к задачам по охране окружающей среды и климата с учетом их интернационального характера.

Вместе с тем в работах Г. Кана, Д. Габора и других буржуазных специалистов отчетливо прослеживается надклассовая позиция и утопический подход к решению проблем, связанных с минеральными ресурсами. Их цель — достижение сомнительной

«всеобщей гармонии» интересов разных общественных классов и социальных слоев населения. Провозглашая единство и солидарность человечества как обязательные условия выживания и прогресса, исследователи считают классовую борьбу, социальные и национальные конфликты в капиталистических странах, а также национально-освободительное движение народов против империализма противоестественными и противоречащими «гармонии общечеловеческих интересов», барьерами на пути решения глобальных мировых проблем. Свои выводы и рекомендации они распространяют на весь мир, игнорируя при этом принципиальное отличие отношений общества с природой в условиях социализма и капитализма.

Отдельные зарубежные специалисты связывают возникшую проблему обеспеченности мирового капиталистического хозяйства минеральным сырьем с внешнеэкономической политикой стран-экспортеров, которые ведут борьбу за укрепление своих позиций на мировом рынке, повышают в ряде случаев цены на экспортируемое сырье, сокращая или сдерживая объемы производства. Среди предлагаемых зарубежными экономистами рекомендаций имеются и такие, как либерализация торговли между промышленно развитыми капиталистическими и развивающимися странами, отмена всяких ограничений и интегрирование экономики молодых государств в систему современного капитализма, развитие в них частнособственнического сектора и сохранение на этой основе дальнейшей эксплуатации природных ресурсов.

Таким образом, краткий разбор наиболее популярных за рубежом концепций обеспечения минерально-сырьевыми ресурсами мирового хозяйства показывает три основополагающих аспекта проблемы: ограниченность минерального сырья, экономика минерального сырья и международные отношения в сырьевом секторе всемирного производства.

В буржуазной экономической литературе вопрос об **ограниченности минерального сырья** обычно освещается с двух позиций: абсолютной ограниченности, отражающей теоретическую возможность полного исчерпания богатств недр Земли, и относительной ограниченности, зависящей от практической возможности использования этих богатств.

В настоящее время большинство исследователей пришли к выводу о том, что для прогноза неотвратимой глобальной катастрофы из-за *абсолютной ограниченности минерального сырья* в будущем нет достаточно реальных оснований. Вывод основывается прежде всего на расчетах содержания полезных ископаемых в земной коре и Мировом океане. Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что концентрация почти всех полезных элементов в рудах, относимых ныне к разряду «промышленных», в сотни и тысячи раз превосходит их среднее содержание в земной коре, в том числе олова в 2 000 раз, вольфрама в 4 100 раз и молибдена в 800 раз.

Вместе с тем приведенные в табл. 1 расчетные данные в силу

Таблица 1

Сопоставление минимальных содержаний некоторых полезных компонентов в добываемых рудах (I) и их средних содержаний в земной коре (II), г/т

| Компоненты | I | II | I/II |
|------------|---------|--------|--------|
| Олово | 3 500 | 1,7 | 2 000 |
| Вольфрам | 4 500 | 1,1 | 4 100 |
| Молибден | 1 000 | 1,2 | 800 |
| Свинец | 40 000 | 12,0 | 3 333 |
| Ртуть | 1 000 | 0,09 | 11 000 |
| Цинк | 35 000 | 94,0 | 370 |
| Марганец | 250 000 | 1300,0 | 190 |
| Никель | 9 000 | 89,0 | 100 |
| Кобальт | 2 000 | 25,0 | 80 |

теоретического характера не могут быть основой для прогноза обеспеченности минеральным сырьем в настоящее и будущее время. В практике на оценку возможностей вовлечения минеральных ресурсов в хозяйственный оборот главным образом воздействуют такие переменные факторы, как результаты геологоразведочных работ, научно-техническая база горнодобывающих отраслей промышленности, уровень цен на минеральное сырье, состояние международных отношений и т. д. Указанные факторы обуславливают *относительную ограниченность минерального сырья*, в разной степени лимитируя удовлетворение потребностей общественного производства в каждом конкретном периоде развития общества. Эту относительную ограниченность минеральных ресурсов нельзя отождествлять с абсолютным истощением отдельных видов полезных ископаемых.

С начала 50-х годов величина разведанных запасов минерального сырья увеличивалась быстрыми темпами (табл. 2). При этом темпы прироста разведанных запасов подавляющего большинства видов полезных ископаемых превосходили темпы прироста добычи соответствующих видов сырья. Тенденция к увеличению разведан-

Таблица 2

Изменение объемов запасов и добычи важнейших видов твердых полезных ископаемых в промышленно развитых капиталистических и развивающихся странах

| Полезные ископаемые | 1950 г. | 1960 г. | 1970 г. |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Железные руды | 25 000/199 | 45 425/335 | 58 875/503 |
| Бокситы | 120,0/6,8 | 1 991/21 | 3 469/53 |
| Медь | 76,9/2,2 | 104,9/3,5 | 190/5 |
| Свинец | 8,2/1,4 | 29,1/1,7 | 75,47/2,47 |
| Цинк | 15,6/1,9 | 49,2/1,5 | 93,73/4,27 |
| Молибден | 0,710/0,014 | 1,416/0,034 | 3,458/0,073 |
| Вольфрам (WO ₃) | 0,110/0,011 | 0,200/0,013 | 0,536/0,022 |
| Олово | 2,100/0,164 | 2,260/0,138 | 2,805/0,184 |

| Полезные ископаемые | 1975 г. | 1980 г. | Прогнозная оценка на 2000 г. |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| Железные руды | 90 965/580 | 84 283/584 | 100 000/720 |
| Бокситы | 4819/63 | 12 630/72 | 15 000/200 |
| Медь | 343,3/5,6 | 384/6 | 300/10 |
| Свинец | 109,06/2,42 | 109,09/2,41 | 150/5 |
| Цинк | 137,0/4,4 | 198,88/4,52 | 240/9 |
| Молибден | 5,339/0,071 | 6,654/0,091 | 6,0/0,2 |
| Вольфрам (WO ₃) | 0,637/0,024 | 0,827/0,033 | 0,800/0,040 |
| Олово | 2,924/0,175 | 2,921/0,187 | 3,00/0,23 |

Примечание. В числителе приведены данные (в млн. т) по запасам, в знаменателе — по добыче.

ных минеральных ресурсов, если не опережающими, то по меньшей мере сопоставимыми с ростом добычи темпами характерна не только для послевоенного периода, но и для XX в. в целом. Так, отношение величины «достоверных и вероятных» запасов к среднегодовому уровню потребления 17 основных видов полезных ископаемых сократилось лишь по ванадию, осталось неизменным по олову и молибдену, а по остальным 14 видам возросло. Это еще раз свидетельствует о том, что относительная ограниченность минерального сырья сама по себе не может рассматриваться в качестве достаточного научного аргумента в пользу тезиса о неминуемом истощении минеральных ресурсов.

Запасы полезных ископаемых, как переменные величины, зависят не только от умножения геологических знаний, но и от изменения цен на минеральное сырье, издержек его добычи и переработки, динамики спроса при неизменных ценах. С углублением международного разделения труда и расширением мирохозяйственных связей в ресурсопользовании резко возрастает роль внешнеэкономических отношений — торговых, инвестиционных, валютно-финансовых и т. д. Таким образом, решение вопросов обеспечения мирового капиталистического хозяйства минеральными ресурсами связано не с геолого-технологическими, а прежде всего с политико-экономическими факторами.

Кризисные ситуации в капиталистической экономике в начале 70-х годов отразились и на **экономике минерального сырья**, вызвав значительное повышение цен на минеральное сырье (табл. 3). С 1970 по 1979 г. включительно экспортные цены минерального сырья на мировом рынке возросли в 6,5 раз, в том числе на топливо в 9,7 раза и на металлические руды в 2 раза относительно их увеличения за предыдущие 20 лет (с 1950 по 1970 г.) соответственно на 17 и 29 % [21]. Это обусловило серьезные потрясения в сфере долговременных ценовых пропорций международного экономического обмена.

Основной причиной повышения цен на минеральное сырье было совпадение циклических потрясений капиталистической экономи-

Изменение цен на мировом капиталистическом рынке
(в % по отношению к ценам 1970 г.)

| Продукция | 1973 г. | 1975 г. | 1977 г. | 1979 г. |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Промышленные изделия | 133 | 185 | 202 | 265 |
| Топливо | 182 | 588 | 682 | 971 |
| Цветные металлы—всего | 122 | 115 | 134 | 192 |
| В том числе: | | | | |
| олово | 132 | 189 | 300 | 421 |
| трехокись вольфрама | 133 | 134 | 205 | 342 |
| молибден | 123 | 128 | 129 | 254 |

ки, проявившихся наиболее сильно в середине 70-х годов, с обострением конфликта между промышленно развитыми капиталистическими и развивающимися государствами на основе разрушения сложившихся неравноправных отношений. Не менее важной экономической причиной повышения мировых цен на сырье послужил сложившийся в начале 70-х годов дефицит в предложении преобладающего большинства видов полезных ископаемых, вызванный нарушением пропорций в их добыче и потреблении, а также усилением спекуляции на многих сырьевых рынках мира. Рост экспортных цен цветных металлов в конце 60-х — начале 70-х годов способствовал увеличению разрыва в соотношении мировых цен на минеральное сырье и продукции из него в пользу последних, что не могло не повлиять на ухудшение условий торговли развивающихся стран, поставляющих на экспорт в основном сырье.

В последние годы острота сырьевой проблемы несколько уменьшилась, ценовые соотношения неэнергетического сырья и готовых изделий приблизились к послевоенному уровню. Однако напряжение во взаимоотношениях между странами — импортерами минерального сырья и странами — экспортерами продолжает оставаться, что обусловлено ограничением в последние годы доступа капиталистических монополий к естественным богатствам экономически слабо развитых стран Азии, Африки, Центральной и Южной Америки. Рост зависимости ведущих капиталистических стран — основных потребителей минерального сырья и топлива — от импорта оказывает огромное влияние на формирование **международных отношений в сырьевом секторе** всемирного производства.

В настоящее время примерно треть мировой капиталистической торговли приходится на сырье и ресурсоемкую продукцию. При этом характерной особенностью развития торговли за последние 15—20 лет являлись более быстрые темпы ее роста внутри группы промышленно развитых капиталистических государств. Например, в импорте металлических руд в ведущих капиталистических странах доля развивающихся стран понизилась с конца 50-х до середины 70-х годов с 50 до 40%. Отрицательное воздействие на экспорт сырья из развивающихся государств оказывают проводи-

мые капиталистическими странами мероприятия протекционистского характера, направленные на стимулирование собственной добычи сырья. Однако развивающиеся страны продолжают оставаться важнейшими поставщиками сырьевых товаров. Так, за первую половину 70-х годов доля (в %) развивающихся стран в мировом капиталистическом экспорте железных руд составила 37, меди 59, марганцевых руд 60, бокситов 65, олова 85. Преимущественно сырьевая экспортная специализация развивающихся стран во многом определяет неравноправное, зависимое их положение в мировой торговле, тормозит повышение доли в мировом товарообороте.

Недовольство развивающихся стран — экспортеров неустойчивостью капиталистической торговли минеральным сырьем выражается в попытках осуществить международное регулирование мировых товарных рынков. В этих целях создаются ассоциации развивающихся государств — экспортеров сырья, которые представляют собой распространенную форму коллективного воздействия на рынки. Создание межгосударственных ассоциаций экспортеров — эффективная мера реализации экономических интересов стран, ставших на путь независимого развития. Деятельность подобных ассоциаций направлена прежде всего на стабилизацию торговли минеральным сырьем, поддержание выгодного уровня его цен, ограничение диктата транснациональных корпораций в сфере ресурсопользования. Однако их влияние на рынках неэнергетического сырья не меняет характера действия закона стоимости, так как основу цены сырьевых товаров составляют издержки производства, которые не поддаются регулированию со стороны указанных ассоциаций.

Развивающиеся страны считают, что существующие экономические связи между ними и промышленно развитыми капиталистическими государствами почти не дают гарантий для ликвидации экономической отсталости. Противодействие вмешательству транснациональных корпораций во внутренние дела суверенных развивающихся стран и грабежу их природных ресурсов стало одним из важнейших направлений в перестройке и установлении международных отношений на основе равноправия и сотрудничества, в ликвидации всех проявлений неокOLONIALИЗМА. Требования развивающихся стран об осуществлении над транснациональными корпорациями эффективного контроля нашли отражение в принятых Генеральной Ассамблеей ООН «Декларации об установлении нового международного экономического порядка» (май 1974 г.) и «Хартии экономических прав и обязанностей государств» (декабрь 1974 г.).

В отличие от капиталистических эконометрических концепций, предопределяющих и на будущее методы хищнической эксплуатации и расточительного потребления минерально-сырьевых ресурсов, в Советском Союзе и других странах социалистического лагеря основополагающим критерием общественных отношений в области использования природных ресурсов является государствен-

ная собственность на землю и ее недра. Это позволяет не только обеспечивать все возрастающие потребности народного хозяйства в минеральном сырье, но и сохранять природные богатства для будущих поколений, а также создавать соответствующие благоприятные условия для планового, рационального и комплексного пользования недрами.

Усилия социалистических стран по решению проблем обеспечения энергией и сырьем потребностей народного хозяйства охватывают весь комплекс процессов ресурсопользования — от поисков и разведки месторождений полезных ископаемых до конечного потребления и утилизации вторичного сырья. Важнейшая роль при этом отводится повышению эффективности геологоразведочных работ, улучшению их технической оснащенности, обеспечению опережающего роста разведанных запасов минерального сырья по сравнению с темпами развития горнодобывающих отраслей промышленности, максимальному сокращению потерь при добыче и переработке топлива и сырья, внедрению прогрессивных малооперационных и безотходных технологий производства.

Решая собственные проблемы энергоресурсов и минерального сырья в сочетании с задачами активного участия в международном разделении труда на равноправной и взаимовыгодной основе, страны социализма содействуют стабилизации мировой ситуации с сырьем и топливом, являются важным фактором планомерной концентрации усилий для решения общечеловеческих проблем использования природных ресурсов планеты. Экономическое сотрудничество стран — членов СЭВ с развивающимися государствами не только облегчает энергосырьевое положение последних, но и дает пример равноправных и взаимовыгодных международных экономических отношений, сужает сферу действий монополистического капитала в проведении одностороннего регулирования международной торговли.

Развитие и использование минерально-сырьевой базы мирового хозяйства

Важнейшее условие правильного выбора основных направлений воздействия человеческого общества на ресурсный потенциал Земли и прогнозирования возможностей обеспечения мирового хозяйства невозобновляемыми природными ресурсами — определение тенденций развития и использования сырьевой базы всемирного производства. Рассматривая эту проблему, целесообразно объединить указанные тенденции в три группы, отличающиеся особенностями характера проявления.

Первая группа тенденций охватывает вопросы изменения объемов добычи полезных ископаемых, темпы относительного прироста их разведанных запасов, изменения качества добываемого минерального сырья, структурных сдвигов в балансе его запасов за счет вовлечения в хозяйственный оборот крупных месторождений с бедными рудами. Все эти вопросы тесно переплетаются с тезисом о

возможной ограниченности минерального сырья и требуют более детального рассмотрения.

1. Рост народонаселения и общественного мирового производства вызвал *значительное увеличение масштабов извлечения из недр полезных ископаемых*. Так, за последние 30 лет добыча нефти в несоциалистическом мире возросла в 5, природного газа — в 5,3, бокситов — в 11, горно-химического сырья — в 3,5, железных руд и большинства цветных металлов — в 2—3 раза. На последние 25 лет приходится (в %) олова 35, угля 47, вольфрама 53, железных руд 58, молибдена 74, нефти 81, природного газа 85 и бокситов почти 89 от общего количества этих полезных ископаемых, добытых в мире за столетний период.

Несмотря на ожидаемое замедление темпов роста потребления минерального сырья, абсолютные размеры его использования будут продолжать увеличиваться и к 2000 г. могут возрасти, по оценкам советских и зарубежных специалистов, по меньшей мере в 2 раза. Если даже принять для расчета современные уровни добычи минерального сырья, то за 1976—2000 гг. из недр будет извлечено 85 млрд. т угля, 75 млрд. т нефти, около 40 трлн. м³ природного газа и 25 млрд. т железной руды (в пересчете на товарную), что в 1,5—2 раза больше добытого за 1951—1975 гг.

2. При весьма значительных абсолютных приростах запасов полезных ископаемых в целом наблюдается *постепенное снижение темпов относительного прироста запасов важнейших видов минерального сырья*. Так, среднегодовые приросты запасов нефти за 1970—1980 гг. снизились относительно 1950—1960 гг. в несоциалистическом мире в 52 раза, природного газа — в 9, бокситов и свинца — в 5,8, железных руд, цинка и олова — почти в 2, вольфрама — в 1,5 раза и т. д. (табл. 4). Исходя из общих геологических предпосылок, советские и зарубежные специалисты считают, что при сохранении современных цен на минеральное сырье снижение темпов относительных приростов запасов большинства видов полезных ископаемых будет продолжаться.

Таблица 4

Изменение объема среднегодового прироста запасов важнейших видов полезных ископаемых

| Полезные ископаемые | 1950—1960 гг. | 1960—1970 гг. | 1970—1980 гг. |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Олово | 0,016/0,8 | 0,055/2,4 | 0,012/0,4 |
| Вольфрам (WO ₃) | 0,009/8,2 | 0,034/17,0 | 0,029/5,4 |
| Молибден | 0,071/10,0 | 0,204/14,4 | 0,32/9,3 |
| Бокситы | 187/155,8 | 148/7,4 | 916/26,4 |
| Медь | 2,8/3,6 | 8,5/8,1 | 19,4/10,2 |
| Свинец | 2,1/25,6 | 4,6/15,8 | 3,4/4,5 |
| Цинк | 3,4/21,8 | 4,5/9,1 | 10,5/11,2 |

Примечание. В числителе приведены данные в млн. т, в знаменателе — в %.

3. Характерная особенность минерально-сырьевой базы — *постепенное снижение качества добываемых руд*. Возросшая потребность мирового хозяйства в полезных ископаемых, истощение запасов богатых руд, технический прогресс в горном деле и технологии переработки сырья — все это обуславливает разработку во многих странах месторождений с бедными рудами, которые ранее считались непригодными для промышленного освоения. Например, за последние 30 лет среднее содержание олова в рудах разрабатываемых в мире месторождений снизилось в 2 раза. При этом снижение качества добываемых руд и оловоносных песков произошло практически во всех основных странах — поставщиках олова: Малайзии, Таиланде, Боливии, Индонезии, Заире, Великобритании, Испании и др. Согласно прогнозным оценкам отдельных исследователей, снижение качества минерального сырья будет продолжаться и дальше. Предполагается, что с 1976 по 2000 г. среднее содержание вольфрама и молибдена в добываемых рудах уменьшится в 2, меди и олова — в 1,7, марганца — в 1,3 раза.

Вместе с тем выполненный советскими экономистами анализ [21] свидетельствует о том, что переход к разработке более бедных руд и освоению новых месторождений полезных ископаемых в отдаленных районах при отсутствии там развитой инфраструктуры до сих пор не сопровождался увеличением реальных издержек добычи минерального сырья в развитых капиталистических и развивающихся странах, т. е. издержек, соотнесенных с общим индексом мировых цен. Например, издержки производства 1 т олова в концентрате из руд месторождений разных формационных (промышленных) типов с различными горно-геологическими и географо-экономическими условиями разработки примерно в 1,2—3 раза ниже современных мировых цен на этот вид полезного ископаемого (табл. 5).

4. В связи с объективной закономерностью снижения качества потребляемого минерального сырья формируется весьма важная тенденция — *возрастание роли в общем балансе запасов и добыче крупных и весьма крупных месторождений с бедными, но легкообогатимыми рудами*. Эта тенденция характерна для подавляющего большинства полезных ископаемых. Особенно отчетливо она проявилась в медной и молибденовой промышленности, где основными поставщиками металлов стали месторождения порфирирового типа. Высокая промышленная значимость указанного типа оруденения определяется крупными размерами рудных тел и благоприятными условиями их залегания, довольно равномерным распределением как основного, так и попутных полезных компонентов. Содержание меди в порфирировых рудах меняется от 0,17 до 1,5 %, молибдена — от 0,005 до 0,3 %, золота — от 0,2 до 0,9 г/т, серебра — от 1,2 до 80 г/т. За последние 20 лет запасы молибдена, сосредоточенные в месторождениях порфирирового типа, увеличились более чем в 70 раз, а их удельный вес от всех мировых запасов возрос с 6 до 70 %. За этот период производство молибдена в концентрате из порфирировых руд увеличилось в 6 раз.

Таблица 5

Основные технико-экономические показатели при разработке оловянных месторождений (1978—1979 гг.)

| Страна | Формационный (промышленный) тип месторождений | Минимальное содержание олова | | Преобладающий способ отработки | Издержки производства 1 т олова в концентрате, дол. |
|----------------|---|------------------------------|-----------|--------------------------------|---|
| | | г/м ³ | % | | |
| Индонезия | Россыпи | 240—300 | — | Гидравлический Дrajный | 9 790 6 150—6 710 |
| Австралия | Силикатно-касситеритовый (штокверк) | — | 0,25—0,60 | Карьерный механизированный | 8 540 |
| | Сульфидно-касситеритовый (жильный) | — | 0,40 | Подземный | 8 840 |
| Великобритания | » | — | 0,90 | » | 9 270 |
| Малайзия | Россыпи | 135—430 | — | Дrajный | 9 630 |
| Таиланд | » | 200—400 | — | Дrajный, землесосные установки | 9 820—11 400 |
| ЮАР | Морские россыпи | 320—500 | — | Дrajный | 10 720 |
| Боливия | Кварц-касситеритовый и сульфидно-касситеритовый (жильный) | — | 0,64—0,80 | Подземный | 14 535 |

Имеется много примеров освоения бедных месторождений других видов полезных ископаемых. Так, на вольфрамовом месторождении Хемердон в Великобритании проведена детальная разведка, по данным которой подсчитаны запасы руд в количестве 45 млн. т со средним содержанием триоксида вольфрама 0,17 % и олова 0,025 %. На месторождении проектируется добыча открытым способом 2 млн. т руды в год. Товарный вольфрамовый концентрат будет содержать 40—65 % триоксида вольфрама, предусматривается также извлечение олова при обогащении руд как попутного компонента.

В настоящее время основные запасы многих видов полезных ископаемых сосредоточены в ограниченном количестве крупных и весьма крупных месторождений. Так, около 70 % разведанных запасов бокситов заключено в 40 месторождениях мира, 60 % меди — в 45 месторождениях, 80 % молибдена — в 20 месторождениях, 70 % свинца — в 35 месторождениях, 65 % никеля — в 16 месторождениях и т. д. На эти же месторождения приходится и основная доля добычи указанных полезных ископаемых.

Вторая группа тенденций объединяет тенденции наиболее полного и рационального использования ресурсного потенциала как разрабатываемых месторождений и известных рудных районов, так и широких поисков новых источников получения минерального сырья. Известно, что уровень использования природных ресурсов в мире все еще остается низким. Так, в современной мировой экономике при ежегодном производстве около 20 млрд. т различных видов сырья и материалов (включая топливо, руды, строительные материалы и др.) используется в качестве готовой продукции менее 1 млрд. т, а остальное идет в отходы.

Все это свидетельствует о больших резервах дополнительного получения сырья, по-новому ставит вопросы об охране окружающей среды. Как отмечалось в Отчетном докладе ЦК КПСС XXVI съезду Коммунистической партии Советского Союза, актуальность этих задач связана с тем, что речь идет о невозполнимых богатствах. За их правильное, рациональное использование мы несем ответственность не только перед нынешним, но и перед будущим поколением.

Тенденции рассматриваемой группы сводятся к следующему.

1. Резко усилилось внимание к вопросам *комплексного использования минерального сырья и снижения его потерь*. Это обусловлено в первую очередь совершенствованием технологии добычи и переработки полезных ископаемых, достижениями науки и техники. Известно, что преобладающая часть видов минерального сырья представляет собой комплекс сложных соединений химических элементов. Так, в железных рудах часто присутствуют ванадий, кобальт, медь, цинк, сера, фосфор и др. В рудах цветных металлов наряду с 10—12 основными компонентами имеется свыше 60 так называемых попутных элементов, в том числе золото, серебро, платиноиды, рений, индий и многие другие. В нефти и природном газе содержатся и могут быть использованы сера, гелий, бром, иод. При этом содержащиеся в комплексных рудах попутные компоненты по запасам часто соизмеримы с мономинеральными месторождениями этих же компонентов, а их экономическая и техническая ценность во многих случаях превышает ценность основных полезных ископаемых, заключенных в комплексных рудах.

Усилилось внимание к вопросам комплексного освоения месторождений полезных ископаемых и в зарубежных странах. Например, в Канаде из руд месторождения Кидд-Крик первоначально извлекались лишь цинк, свинец, медь и серебро, а с 1972 г. налажено извлечение кадмия, с 1973 г. — олова. Из бокситов в возраст-

тающем количестве извлекаются галлий, ванадий и другие элементы-примеси. Растет комплексность переработки медно-никелевых, медно-молибденовых и других руд сложного состава, увеличивается извлечение (как попутных компонентов) золота, серебра, редких и рассеянных элементов.

2. При современном уровне геологической изученности легкодоступных территорий вероятность открытия в их пределах новых крупных месторождений полезных ископаемых ежегодно уменьшается. Одновременно сокращается доля месторождений, залегающих на относительно небольших глубинах. Указанные обстоятельства вызывают значительный рост затрат на производство геологоразведочных работ и снижение их эффективности. В этих условиях особое значение приобрели вопросы *переоценки запасов минерального сырья известных месторождений, а также потенциальных возможностей ранее изучавшихся металло- и нефтегазоносных площадей на основе новых геологических концепций, достижений в области техники и технологии.*

Как показывает отечественная и мировая практика, обоснованное снижение браковочного предела содержания полезных компонентов в рудах существенно повышает количество запасов различных видов минерального сырья в уже известных и часто осваиваемых промышленностью месторождениях. Так, снижение кондиций на медь и молибден в рудах Каджаранского месторождения позволило увеличить балансовые их запасы на 30 %. В условиях Кривбасса снижение бортового содержания железа в богатых рудах до 42 % обеспечивает рост их балансовых запасов на 35 %. Вовлечение в разработку карбонатных и окисно-карбонатных марганцевых руд увеличивает количество запасов металлического марганца на Никопольском месторождении и на месторождениях Атасуйского района до 30 млн. т.

Более рациональный и комплексный подход к оценке ресурсного потенциала так называемых «старых» районов позволил ряду промышленно развитых капиталистических стран расширить собственную сырьевую базу. В этих районах были открыты новые месторождения молибдена, свинца, бериллия и золота в США, бериллия и урана во Франции. Значительно увеличены запасы олова в ряде давно известных горно-промышленных районов, где оловодобыча осуществляется уже на протяжении двух и более веков. Выявлены крупные скопления оловянных руд силикатно-касситеритового типа с повышенным содержанием сульфидов в старейшем районе Корнуэлл (Великобритания), перспективное оловянное оруденение разных формационных типов установлено в Австралии, Мексике, Перу, США и некоторых других странах.

3. Относительная ограниченность удовлетворения потребностей мирового хозяйства в полезных ископаемых обусловила *организацию поисков новых, нетрадиционных источников получения минерального сырья.* Важнейшим источником энергоресурсов и технологического сырья могут быть запасы нефти в нефтеносных сланцах и песках, оцениваемые до глубины 1500 м в 300—400 млрд. т.

Большие резервы роста добычи нефти заключены в недрах шельфовых зон морей и океанов, в которых, по расчетам отдельных зарубежных специалистов, сосредоточено около 90 млрд. т этого ценного топливно-технологического сырья. Все шире стали вовлекаться в освоение прибрежно-морские россыпи рудных полезных ископаемых. В больших масштабах организована разработка подводных россыпей касситерита в странах Юго-Восточной Азии, в ограниченных пока размерах начата добыча в шельфовых зонах титаноносных песков в Австралии, золота в США, алмазов в ряде стран Африки и др.

Внимание многих специалистов привлечено сейчас к металлоносным илам на морском дне, которые наиболее изучены в Красном море. Здесь, на участке Атлантис II, запасы железа составляют 30 млн. т, цинка 2,5 млн. т, меди 500 тыс. т и серебра 9 тыс. т. При этом в илах содержится 0,9 % меди, 5,8 % цинка и 110 г/т серебра. Принципиально новым и чрезвычайно крупным источником получения полезных компонентов являются минеральные ресурсы глубоководного ложа Мирового океана, вопросы изучения и освоения которых в последнее десятилетие приобрели исключительно важное значение. Особое место здесь занимают так называемые железо-марганцевые конкреции, залежи которых распространены на огромных площадях дна Индийского, Тихого и Атлантического океанов.

В ближайшем будущем важное место займет производство ряда полезных компонентов из гидроминерального сырья, являющегося в настоящее время основным источником получения лишь иода и брома. Отдельные промышленно развитые страны уже сегодня ведут добычу из подземных минерализованных вод калия, магния, бора, вольфрама, фтора, лития, мышьяка и германия. Имеются разработанные способы извлечения из шахтных вод меди и молибдена. Большой интерес представляют термальные воды с высокими содержаниями рубидия, цезия, бора, стронция и т. д.

4. Воздействие научно-технического прогресса на мировое производство, неуклонное удорожание разведки и добычи полезных ископаемых обусловили *усиление режима экономии первичного минерального сырья, расширение использования синтетических сырьевых материалов*. Здесь можно привести множество противоречивых примеров изменения затрат сырья в расчете на единицу конкретного конечного продукта. Однако в целом эти изменения отражают общую направленность снижения «сырьеемкости» мирового промышленного производства. Например, США к началу 50-х годов значительно опередили другие капиталистические страны по уровню энерго- и металлонасыщенности производства. В последующее время за счет ускоренного развития новых прогрессивных отраслей промышленности удельные затраты важнейших видов минерального сырья на единицу конечной продукции в этой стране существенно снизились и стали меньше, чем в остальных развитых государствах неосоциалистического мира. Есть основания полагать, что в ближайшем будущем процесс снижения

энерго- и металлоемкости будет интенсивно развиваться, в результате чего темпы прироста потребления первичного сырья по сравнению с темпами увеличения валового общественного продукта могут замедлиться.

Особое место в указанном процессе отводится использованию синтетических заменителей первичного минерального сырья. Ряд зарубежных специалистов полагает, что к 2000 г. около 75 % всех конструкционных материалов будет производиться из пластмасс. При этом исходным сырьем для получения синтетических материалов служат, как правило, малодофицитные и дешевые природные образования с практически не ограниченными запасами.

Третья группа тенденций — тенденции, активно влияющие на развитие международных отношений в сырьевом секторе мирового хозяйства. К ним прежде всего относятся неравномерность размещения минерально-сырьевых ресурсов в сочетании с диспропорциональностью развития отдельных частей всемирного производства, несоответствие между территориальным расположением доступных для рентабельного использования месторождений полезных ископаемых и основных центров потребления минерального сырья, сложившаяся структура потребительского спроса и его регулирования.

1. За последние 30 лет доля промышленно развитых стран в разведанных запасах подавляющего большинства видов полезных ископаемых неосоциалистического мира значительно снизилась, в том числе нефти и никеля — в 3 раза, природного газа — в 2,3 раза, бокситов и молибдена — в 2 раза, свинца, цинка и ртути — в 1,2 раза. Исключение составляют запасы черных металлов, сурьмы и вольфрама (табл. 6). За этот же период доля этих стран в добыче многих видов минерального сырья несколько возросла или осталась практически на одном уровне.

Таблица 6

Доля развитых стран в запасах, добыче, производстве и потреблении минерального сырья в неосоциалистическом мире, %

| Полезные ископаемые | Промышленные запасы | Добыча | Производство | Потребление |
|---------------------|---------------------|--------|--------------|-------------|
| Олово | 12/12 | 4/11 | 58/23 | 93/87 |
| Вольфрам | 41/64 | 57/54 | 55/51 | 100/99 |
| Молибден | 100/55 | 93/86 | 93/84 | 100/98 |
| Никель | 100/35 | 89/63 | 99/82 | 100/95 |
| Бокситы | 58/29 | 35/46 | 100/90 | 99/91 |
| Медь | 36/35 | 55/46 | 82/72 | 96/91 |
| Свинец | 87/80 | 66/70 | 83/85 | 95/87 |
| Цинк | 89/80 | 75/72 | 93/88 | 97/84 |
| Ртуть | 96/82 | 98/60 | 96/58 | 100/83 |
| Сурьма | 20/41 | 41/39 | 41/36 | 100/88 |

Примечание. В числителе приведены данные начала 50-х, в знаменателе — конца 70-х годов.

Сложившуюся диспропорциональность между удельным весом разведанных запасов полезных ископаемых и удельным весом их добычи в развитых странах многие исследователи склонны считать одной из основных причин сырьевого кризиса современного капитализма. Однако это вряд ли соответствует реальной действительности. Промышленно развитые капиталистические страны в целом располагают весьма большими запасами минерального сырья. На их территории сосредоточено 80—85 % запасов марганца, свинца, цинка и ртути, 55—65 % запасов железных руд, хрома, вольфрама и молибдена, 30—40 % запасов никеля, бокситов, меди, сурьмы и природного газа. Приведенные данные свидетельствуют о том, что снижение доли промышленно развитых капиталистических государств в запасах минерального сырья происходит не в результате «истощения» их недр, а за счет повышения в общем балансе удельного веса сырьевых ресурсов развивающихся стран.

Рассматривая вопросы оценки степени соответствия минерально-сырьевой базы уровню производительных сил неосоциалистического мира, советские экономисты считают целесообразным делать эту оценку путем сопоставления удельного веса развитых и развивающихся государств в запасах и добыче с их долей в промышленном производстве. Такой подход позволяет раскрыть сущность потребительского спроса на полезные ископаемые, установить характер диспропорций между уровнями развития сырьевой базы и производительных сил в индустриальных капиталистических странах. Выполненные расчеты (табл. 7) показывают, что удель-

Таблица 7

Степень соответствия ресурсной базы производительным силам в неосоциалистическом мире

| Полезные ископаемые | Промышленно развитые страны | | Развивающиеся страны | |
|---------------------|-----------------------------|---------|----------------------|---------|
| | I | II | I | II |
| Нефть | 41/14 | 63/32 | 630/587 | 430/487 |
| Природный газ | 67/40 | 108/104 | 400/440 | 30/80 |
| Железная руда | 53/65 | 102/75 | 520/300 | 80/240 |
| Марганец | 28/21 | 33/53 | 750/574 | 700/367 |
| Хром | 56/76 | 44/71 | 500/233 | 600/267 |
| Никель | 111/36 | 100/79 | 10/460 | 100/220 |
| Бокситы | 64/40 | 39/47 | 420/440 | 650/400 |
| Медь | 40/47 | 61/59 | 640/400 | 450/333 |
| Свинец | 97/89 | 73/82 | 120/160 | 340/200 |
| Цинк | 99/92 | 83/88 | 110/147 | 250/167 |
| Олово | 13/14 | 4/12 | 880/587 | 960/600 |
| Фосфатные руды | 43/62 | 62/64 | 610/313 | 440/307 |
| Калийные соли | 77/96 | 100/100 | 310/120 | 10/40 |

Примечание. I и II отношение доли соответственно в промышленных запасах и добыче к доле в промышленном производстве. В числителе приведены данные начала 50-х, в знаменателе — середины 70-х годов.

ный вес развитых стран в промышленном производстве несоциалистического мира более чем в 2 раза превышает их долю в разведанных запасах большинства видов минерального сырья и значительно больше доли в добыче почти всех полезных ископаемых. Эти страны при существующих диспропорциях не могут обеспечить полностью свои потребности в минеральном сырье даже при более интенсивной отработке собственных месторождений. В результате общей тенденцией продолжает оставаться повышение роли развивающихся стран в минерально-сырьевом снабжении индустриальных капиталистических государств.

2. *Отличительной чертой динамики потребления минерального сырья в последние годы служит его опережающий рост в развивающихся странах.* Темпы прироста потребления первичных источников энергии здесь за последние 30 лет превзошли эти показатели для индустриальных стран более чем в 1,5 раза, меди и свинца в 2 раза, стали в 3 раза, цинка и алюминия в 5 раз и т. д. Тем не менее указанный процесс не привел к кардинальным изменениям географической структуры потребления минерального сырья в мировом капиталистическом хозяйстве. На промышленно развитые страны, как и прежде, приходится 85—90 % суммарного потребления большинства видов полезных ископаемых (см. табл. 6). Некоторое снижение потребления сырья в этих странах вызвано скорее его экономией и применением синтетических материалов, чем межрегиональными или межстрановыми перераспределениями.

В настоящее время в США общее потребление минерального сырья и продуктов его переработки превысило 4 млрд. т, а к 2000 г., как ожидается, возрастет до 11 млрд. т в год при общей стоимости около 120 млрд. долл. Уже сейчас удельный вес в общем потреблении импортного сырья в США составляет (в %) для стронция и ниобия 100, кобальта и марганца 98, хромитовых руд 96, тантала и алюминия 88, ртути 82, никеля 73, вольфрама 60, сурьмы 46, нефти 35, железных руд 23 и меди 18. На второе место по потреблению минерального сырья в капиталистическом мире вышла Япония при крайней ограниченности собственных ресурсов. Эта страна полностью или почти полностью зависит от ввоза нефти, железных руд, хромитов, никеля, кобальта, молибдена, бокситов, олова, ртути и т. д. Крупным потребителем минерального сырья является ФРГ, но и она полностью удовлетворяет свои потребности за счет собственных ресурсов только в угле и калийных солях, частично в цинке, плавиковом шпате, природном газе.

3. Национальные особенности потребительского спроса на минеральное сырье находят отражение в данных о потреблении полезных ископаемых на душу населения. Проведенные советскими экономистами расчеты (табл. 8) показали, что при опережающем росте промышленного использования минерального сырья на периферии капиталистического хозяйства *разрыв в уровнях потребления полезных ископаемых на душу населения между индустриально развитыми и развивающимися государствами не только не уменьшается, но и даже растет.* Уже в середине 70-х годов потребление

Т а б л и ц а 8

Потребление основных видов минерального сырья в несоциалистическом мире в расчете на душу населения, кг

| Вид сырья | Всего | В том числе | | | |
|----------------|-----------|-----------------------------|-------------|-----------|----------------------|
| | | Промышленно развитые страны | из них | | Развивающиеся страны |
| | | | США | Япония | |
| Нефть | 370/1090 | 800/2870 | 2460/4350 | 24/2790 | 150/370 |
| Природный газ | 140/480 | 400/1440 | 1460/3675 | 1/160 | 5/90 |
| Уголь | 670/460 | 1870/1420 | 2940/2380 | 465/710 | 50/70 |
| Алюминий | 0,8/3,9 | 2,3/12,5 | 5,4/21,0 | 0,2/12,8 | 0,01/0,44 |
| Медь | 1,6/2,4 | 4,4/7,5 | 8,5/8,7 | 0,8/9,1 | 0,09/0,26 |
| Свинец | 1,0/1,3 | 2,8/3,9 | 5,3/6,0 | 0,3/2,1 | 0,08/0,23 |
| Цинк | 1,1/1,6 | 3,1/4,6 | 6,0/5,2 | 0,6/6,2 | 0,05/0,33 |
| Олово | 0,1/0,07 | 0,2/0,2 | 0,5/0,2 | 0,06/0,3 | 0,01/0,01 |
| Фосфатные руды | 3160/6455 | 8930/19550 | 12740/33160 | 3595/6170 | 180/1165 |
| Калийные соли | 1710/4780 | 5010/16304 | 6525/10300 | Нет свед. | Нет свед./145 |

Примечание. В числителе приведены данные начала 50-х, в знаменателе — середины 70-х годов.

основных видов минерального сырья в расчете на душу населения промышленно развитых капиталистических стран превышало соответствующий показатель для развивающихся стран в 10—20 раз, а в США по отношению к последним — в 20—40 раз.

4. Наконец, следует отметить, что *современный стиль жизни в промышленно развитых странах в большинстве случаев приводит к бессмысленному расточительному потреблению природных ресурсов*. Американский ученый-экономист Т. Сцитовски считает «образцом» такой расточительности Соединенные Штаты Америки. По его расчетам, доля США в мировом потреблении энергии и минерально-сырьевых ресурсов в 6—7 раз больше, чем доля этого государства в численности мирового населения. Если бы во всем мире потребление минерально-сырьевых ресурсов в среднем на душу населения было таким как в США (в 5 % общей численности населения), то известных мировых запасов топлива и других естественных богатств хватило бы на жизнь одного поколения. Ожидаемое подтягивание развивающихся государств к уровню потребления минерального сырья на душу населения развитых капиталистических стран без соответствующего регулирования структуры потребительского спроса и изменения сложившихся национальных особенностей может оказать серьезное влияние на процессы вовлечения невозобновляемых природных ресурсов в хозяйственный оборот и обеспечения ими мирового капиталистического производства.

Принципы систематики и учета минерально-сырьевых ресурсов

Все возрастающие темпы добычи и невозобновляемость подавляющего большинства полезных ископаемых вызывают повышен-

ное внимание к вопросам совершенствования систематики ресурсов минерального сырья по степени изученности, а также к их учету и инвентаризации. Следует сказать, что статистический учет потенциальных минерально-сырьевых ресурсов во многих странах неосоциалистического мира, по существу, еще не налажен, методология оценки и критерии разграничения выявленных и прогнозных ресурсов должным образом не разработаны. Значительные трудности при подготовке сводных материалов возникают из-за многообразности и несопоставимости национальных классификаций ресурсов минерального сырья.

Обзор зарубежных классификаций ресурсов (запасов) полезных ископаемых и подробный их анализ были осуществлены В. Н. Полуэктовым и А. Г. Воробьевым в 1979 г. Они отмечали, что большой трудностью при изложении иностранных классификаций является подбор тождественных отечественных терминов, которые соответствовали бы зарубежным не только лексически, но и в смысловом значении. Как правило, систематика и терминология, применяемые в национальных классификациях, предназначаются для различных целей и трактуются по-разному. Изложенная в табл. 9 терминология систематик ресурсов более или менее точно отражает содержание принятых за рубежом понятий, хотя и не всегда совпадает с терминами, употребляемыми в нашей специальной литературе.

Среди опубликованных национальных классификаций запасов (ресурсов) полезных ископаемых наиболее популярной в зарубежных странах считается систематика, предложенная в 1972 г. В. Маккелви, на основе которой Горным бюро и Геологической службой США разработана унифицированная классификация и дано развернутое определение применяемых терминов. Основное содержание определений этих терминов заключается в следующем.

Общие ресурсы включают выявленные запасы (ресурсы) и не обнаруженные ресурсы, отличающиеся разной степенью изученности и обоснованности. Доказанные запасы включают залежи минералов, расположение, количество и качество которых подтверждены необходимыми инженерными замерами и расчетами. Предварительно оцененные запасы включают запасы залежей, для которых количественная оценка основывается главным образом на точном знании геологических особенностей месторождения. Не обнаруженные ресурсы включают залежи минерального сырья, существование которых предполагается на основе геологических предпосылок. Рассмотренная выше классификация используется главным образом Министерством внутренних дел и другими правительственными учреждениями США при государственных региональных оценках потенциальных ресурсов минерального сырья.

В 1975 г. Министерством энергетики, шахт и ресурсов Канады была принята классификация минеральных ресурсов, несколько отличающаяся от классификации Горного бюро и Геологической службы США. Основные различия состоят в более повышенных

Основные зарубежные классификации ресурсов минерального сырья
(по материалам В. Н. Полуэктова, А. Г. Воробьева)

| | | | | | | |
|--|---|---|--|--|-------------------------------|----------------------------------|
| Американский нефтяной институт (США), Канадская нефтяная ассоциация 1974 г. | Запасы извлекаемые | | | | | |
| | Достоверные | Вероятные | | Возможные | Гипотетические | |
| | | Исчисленные | дополнительные | | | |
| Министерство внутренних дел США (Геологическая служба и Горное бюро) 1975 г. | Выявленные ресурсы | | | Необнаруженные ресурсы | | |
| | Рентабельные ресурсы или запасы | | | Гипотетические (теоретически обоснованные) | Предположительные | |
| | Доказанные | | Предварительно оцененные | | | |
| | Измеренные | Исчисленные | | | | |
| Министерство энергетики, шахт и ресурсов Канады 1975 г. | Доказанные ресурсы | | Обоснованно предполагаемые | | Предположительные ресурсы | |
| | Доказанные рентабельные ресурсы или запасы измеренные и исчисленные | | Предварительно оцененные «запасы» | Ресурсы | | |
| | | | | | | |
| Г. Феттвайс (ФРГ) 1977 г. | Выявленные запасы | | | Необнаруженные ресурсы | | |
| | Доказанные | | | Предварительно оцененные С ₂ | Гипотетические D ₁ | Предположительные D ₂ |
| | Измеренные | | Исчисленные С ₁ | | | |
| | Достоверные А | Вероятные В | | | | |
| Группа экспертов ООН 1977 г. | Нефть и газ в недрах | | | | | |
| | Запасы | | | Ресурсы | | |
| | Достоверные | Приращенные (установленные с меньшей точностью) | Приращенные (установленные с наименьшей точностью) | Необнаруженные | | |

требованиях к достоверности категорий запасов и отсутствию их трехчленного деления (см. табл. 9).

В 1977 г. Г. Феттвайсом (ФРГ) опубликована классификация запасов твердых полезных ископаемых, которая по построению весьма близка к классификации Горного бюро и Геологической службы США. Однако в предложенной классификации термин «ресурсы» не применяется. По степени геологической достоверности Г. Феттвайс выделяет выявленные и необнаруженные запасы. Выявленные запасы подразделены им на доказанные (геологическая достоверность более 40 %) и предварительно оцененные (геологическая достоверность 20—40 %). В категории доказанных запасов выделены измеренные (достоверность более 60 %) и исчисленные (достоверность 40—60 %). Измеренные запасы, в свою очередь, подразделены на достоверные (достоверность более 80 %) и вероятные (достоверность 60—80 %). Необнаруженные запасы состоят из гипотетических (достоверность 10—20 %) и предположительных (достоверность менее 10 %). Г. Феттвайсом сделана попытка сравнить свою классификацию с классификацией запасов, принятой в СССР. Достоверные, вероятные, исчисленные и предварительно оцененные запасы он сопоставил соответственно с категориями А, В, С₁ и С₂, а гипотетические и предположительные запасы — с категориями прогнозных ресурсов. Следует отметить, что такое сопоставление вряд ли можно считать правомерным.

Вопросы классификации ресурсов минерального сырья неоднократно обсуждались в Организации Объединенных Наций. Уже в 1975 г. на IV сессии Комитета по природным ресурсам Экономического и социального совета (ЭКОСОС) ООН было отмечено, что сейчас к числу важнейших задач относится разработка единой методологии оценки и системы статистического учета минерально-сырьевых ресурсов, унификация процессов сбора и обработки информации о полезных ископаемых. В 1979 г. экспертная группа ООН в составе специалистов Австрии, Бразилии, Великобритании, Индии, Канады, СССР, США, Франции, ФРГ и других стран рассмотрела и одобрила принципиальную схему международной классификации минеральных ресурсов, которая была рекомендована Комитетом по природным ресурсам ЭКОСОС ООН к практическому использованию в рамках этой международной организации.

В отличие от систематик, используемых за рубежом, в схеме международной классификации применена буквенно-цифровая система обозначения групп и категорий ресурсов полезных ископаемых, установлен принцип их подразделений по степени геологической достоверности и рентабельности использования. Согласно этому принципу минеральные ресурсы (R) делятся на три категории.

R-1 — разведанные ресурсы в известных месторождениях, изученные с детальностью, позволяющей установить условия залегания, размеры, морфологию и качество полезного ископаемого в пределах отдельных рудных тел; главные характеристики, имеющие значение для добычи и переработки сырья, выявлены путем

прямого измерения с применением ограниченной экстраполяции на основе геологических, геофизических и геохимических данных; количество ресурсов оценено с относительно высоким уровнем достоверности, хотя в ряде случаев погрешность оценки может достигать $\pm 50\%$; оценка ресурсов этой категории в основном используется при планировании горно-эксплуатационных работ.

R-2 — предварительно оцененные ресурсы в открытых месторождениях; ресурсы в значительной степени основаны на геологических данных, подтвержденных измерениями лишь в некоторых точках; условия залегания, размер и форма рудных тел определены по аналогии с близлежащими детально изученными месторождениями; достоверность ресурсов этой категории меньше и величина погрешности может превышать $\pm 50\%$; ресурсы используются для планирования геологоразведочных работ и служат резервом прироста ресурсов категории R-1.

R-3 — еще не выявленные (прогнозные) ресурсы месторождений известных промышленных типов; оцениваются на основе геологических представлений, геофизических и геохимических данных, аналогии с изученными месторождениями или с помощью статистических методов; ресурсы этой категории используются для выбора направлений поисковых работ и оценки перспектив отдельных районов.

Категория R-1 и в ряде случаев категория R-2 по степени рентабельности подразделяются на две группы.

Группа «Е» — балансовые ресурсы, которые могут рентабельно обрабатываться в отдельной стране или регионе при существующих социально-экономических условиях и имеющейся технологии.

Группа «S» — оставшаяся часть ресурсов (забалансовая), которая не представляет в настоящий момент интереса, но может проектироваться к освоению в результате прогнозируемых экономических или технологических изменений.

По желанию отдельных стран в категории «R-1-S» могут быть выделены ресурсы «M», находящиеся на грани кондиционности. Вовлечение таких ресурсов в хозяйственный оборот обусловлено возможным внедрением в производство достижений науки и техники или изменением экономической конъюнктуры на минеральное сырье в ближайшее время. Указанный проект международной классификации предусматривает сбор информации об общем количестве минеральных ресурсов в недрах без учета потерь при добыче и переработке. Стадию оценки извлекаемости и вид соответствующего ей конечного продукта необходимо устанавливать для каждого вида полезного ископаемого в отдельности.

Эксперты ООН считают, что принципы, положенные в основу схемы международной классификации ЭКОСОС ООН, будут способствовать совершенствованию действующих национальных классификаций ресурсов полезных ископаемых. Несмотря на возможные неточности и ошибки в применении указанной классификации, ввод ее в действие окажет определенное положительное влияние

на решение задач по сбору и обработке информации о ресурсах минерального сырья по странам и регионам, организацию статистического учета состояния минерально-сырьевой базы мирового хозяйства и возможностей ее дальнейшего расширения в тесной взаимосвязи с развитием горнодобывающей промышленности и изменениями мировых цен на минеральное сырье. Однако следует отметить, что практическое использование международной классификации потребует значительного времени для необходимой переоценки ресурсов минерального сырья в каждой стране применительно к требованиям данной классификации.

Большое значение совершенствованию систематики минеральных ресурсов придается в нашей стране. Вопросы долгосрочного планирования народного хозяйства, обеспеченности производства полезными ископаемыми в настоящее время и на перспективу заняли одно из ведущих мест в проводимых геолого-экономических исследованиях. Особое внимание здесь уделяется совершенствованию методологии прогноза, оценки и статистического учета потенциальных ресурсов минерального сырья. Под потенциальными ресурсами минерального сырья в настоящей работе подразумевается сумма разведанных и предварительно оцененных запасов, а также прогнозных ресурсов. К разведанным и предварительно оцененным запасам отнесены, как это принято в настоящее время ГКЗ СССР, запасы конкретных месторождений промышленных типов, в которых контуры рудных тел и горно-геологические условия их разработки установлены с соответствующей степенью достоверности. К прогнозным ресурсам отнесены неразведанные ресурсы полезных ископаемых определившихся или потенциально перспективных минерализованных участков земной коры, оцененные на основании уже полученных данных об особенностях геологического строения, а также анализа геологической обстановки и аналогий, имеющихся в отечественной и мировой практике.

С 1927 г. (времени появления в нашей стране первой классификации запасов полезных ископаемых) произошли крупные изменения в структуре систематики, характеристике и требованиях к степени изученности запасов. Дифференциация и усложнение характеристик категорий запасов вполне закономерны в связи с увеличением числа промышленных типов, разнообразных по технологическим свойствам руд и горно-техническим условиям их разработки. За более чем 50-летний период каждая из классификаций запасов сыграла определенную роль в учете и рациональном использовании ресурсов минерального сырья.

Запасы категории С₁

Запасы категории С₂

1927 г.

Запасы, установленные только на основании общих геологических предположений, результатов геофизических исследований и изучения отдельных редких искусственных и естественных обнажений. Запасы на категории С₁ и С₂ не подразделялись

1933 г.

Запасы, установленные на основании геологического изучения естественных и редких искусственных обнажений или же по геофизическим данным, увязанным с геологическим строением месторождений и ориентировочным опробованием месторождений

Запасы целых районов или бассейнов, вычисленные на основании их геологического изучения для отдельных месторождений и их групп; запасы даются на основании геологического прогноза

1941 г.

Неразведанный минимальный предполагаемый запас, иногда подсеченный редкими скважинами

Неразведанный предполагаемый запас, вычисленный на основании их геологического изучения; для отнования аналогии с генетически однотипными месторождениями

1953 г.

Запасы, определенные на основании изучения данных редкой сети буровых скважин или горных выработок; запасы, примыкающие к контурам запасов кат. А₁, А₂ и В. Качество, природные типы, промышленные сорта и технология отработки полезного ископаемого определены предварительно на основании анализов или лабораторных испытаний взятых проб, а также по аналогии с изученными месторождениями. Общие условия разработки месторождений изучены предварительно

Запасы, примыкающие к участкам месторождений, разведанных по кат. А₂, В и С₁, а также запасы, предполагаемые по геологическим данным, подтвержденным опробованием полезного ископаемого в отдельных скважинах и выработках

1960 г.

Запасы, разведанные и изученные с детальною, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого, его природных типов, промышленных сортов, качества, технологических свойств, а также природных факторов, определяющих условия ведения горно-эксплуатационных работ. Контур запасов полезных ископаемых определен на основании разведочных выработок и экстраполяции по геологическим и геофизическим данным

Запасы, предварительно оцененные; условия залегания, формы и распространение тел полезного ископаемого определены на основании геологических и геофизических данных, подтвержденных вскрытием тел полезного ископаемого в отдельных точках, либо по аналогии с изученными участками. Качество полезного ископаемого определено по единичным пробам и образцам или по данным примыкающих разведанных участков. Контур запасов полезных ископаемых принят в пределах геологически благоприятных структур и комплексов горных пород

1982 г.

Запасы должны удовлетворять следующим требованиям:

— выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения, оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, а для пластовых месторождений и месторождений строительно-го и облицовочного камня — наличие площадей интен-

Запасы должны удовлетворять следующим требованиям:

— размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого единичными скважинами или горными выработками;

— качество и технологические свойства полезного ископаемого оп-

сивного развития малоамплитудных тектонических нарушений;

— определены природные разнородности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого, установлены общие закономерности их пространственного распределения и количественные соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов, охарактеризовано качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов по всем предусмотренным кондициями показателям;

— технологические свойства полезного ископаемого охарактеризованы в степени, достаточной для обоснования промышленной ценности разведанных запасов; гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;

— контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам или горным выработкам, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологически обоснованной экстраполяции

ределены по результатам исследований единичных лабораторных проб либо оценены по аналогии с более изученными участками того же или другого подобного месторождения; гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия оценены по имеющимся для других участков месторождения данным, наблюдениям в разведочных выработках и по аналогии с известными в районе месторождениями;

— контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций на основании единичных скважин горных выработок, естественных обнажений или по их совокупности, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологических построений, а также путем геологически обоснованной экстраполяции параметров, использованных при подсчете запасов более высоких категорий

Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, опубликованная в ноябре 1981 г., положила начало новому этапу повышения эффективности геологоразведочных работ и качества подготовки минерально-сырьевой базы СССР. В новой классификации [12] сохранена преемственность основных положений, содержащихся в предыдущей классификации (1960 г.), а также предусмотрен ряд новых важных положений. К числу сохраненных положений, полностью оправдавших себя в практике разведки и эксплуатации месторождений относятся следующие:

— основные принципы подсчета и государственного учета разведанных запасов полезных ископаемых;

— подразделение запасов полезных ископаемых и содержащихся в них ценных компонентов по степени их изученности на разведанные (категории А, В и С₁) и предварительно оцененные (категория С₂), а по народнохозяйственному значению — соответственно на балансовые и забалансовые;

— дифференцированный подход к нормативному соотношению балансовых запасов разных категорий на месторождениях с учетом сложности их геологического строения и экономических факторов.

Вместе с тем эти положения новой классификации уточнены на основе накопленного опыта разведки и эксплуатации месторождений, а их содержание приведено в соответствие с Основами законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах, принятыми третьей сессией Верховного Совета СССР девятого созыва 9 июля 1975 г. Так, например, повышены требования к запасам категорий А, В, С₁ и С₂, в частности к изученности минерального состава руд и технологических свойств полезного ископаемого, гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, горно-геологических и других природных факторов, оказывающих влияние на характер разработки месторождений. Значительно усилены также требования к изучению возможностей использования сопутствующих полезных ископаемых и попутных компонентов, пород вскрыши и отходов будущего производства. Одновременно предусматриваются меры по получению необходимых данных для разработки и проведения природоохранных мероприятий при дальнейшей разведке и эксплуатации месторождений.

Классификация 1981 г. отличается принципиально новым подходом к обоснованию разведанных запасов (категорий А, В и С₁). Основным критерием оценки запасов полезных ископаемых той или иной категории ранее являлась детальность их разведки. Так, к категории А относились запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого и т. д. В ныне действующей классификации категории разведанных запасов обосновываются результатами выполнения ряда соответствующих требований. Например, запасы категории А должны удовлетворять следующим требованиям: установлены размеры, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, изучены характер и закономерности изменчивости морфологии и т. д. Как видно из изложенного, требования, регламентирующие в настоящее время эту категорию запасов, не связаны со степенью детальности разведки тел полезного ископаемого и не предопределяют ее заранее. Новый подход к обоснованию запасов категорий А, В и С₁ отражает более объективную трактовку понятий об этих категориях как в процессе разведки месторождений, так и при учете ресурсов минерального сырья.

В новой классификации значительно возросли требования к степени изученности запасов категории С₂ (предварительно оцененных). В частности, при обосновании запасов указанной категории должны быть оценены размеры и строение тел полезного ископаемого, а контур запасов определен с учетом требований условий на основании или по совокупности единичных скважин, горных выработок и т. д. Для этой категории запасов впервые установлено требование к оценке гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, горно-геологических и других природных условий. Одновременно повышается роль запасов категории С₂ при проектировании горных предприятий по добыче полезных ископаемых. Так, на этой стадии освоения месторождений ме-

таллов и нерудного сырья, относимых по сложности геологического строения к 3-й группе, запасы категории C_2 могут быть использованы при проектировании предприятия в количестве 20 %, а месторождений, относимых к дополнительно выделенной 4-й группе с чрезвычайно сложным геологическим строением, — в количестве 50—80 % от суммы запасов категорий C_1 и C_2 .

В соответствии с Основами законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах в новую Классификацию запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых включен также ряд положений об использовании разведанных (категорий А, В и C_1) запасов при проектировании горных предприятий и эксплуатации месторождений. В частности, согласно этим положениям, проектные и геологические организации горнодобывающих отраслей промышленности обязаны предусматривать и осуществлять мероприятия по дальнейшему изучению переданных в промышленное освоение месторождений, своевременно проводить их доразведку и эксплуатационную разведку. Одновременно разрешается использовать при проектировании строительства новых и реконструкции действующих горных предприятий дополнительно выявленные, но не утвержденные ГКЗ СССР (или ТКЗ) запасы категорий А+В+ C_1 в количестве до 20 % от суммы запасов этих категорий, ранее утвержденных на соответствующих осваиваемых месторождениях.

Впервые в отечественной практике в Классификацию запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых включены основные принципы оценки прогнозных ресурсов (категорий P_3 , P_2 и P_1), что обеспечивает последовательное изучение минерально-сырьевого потенциала в пределах геологических объектов разных масштабов: от провинций, бассейнов, рудных районов и зон (ресурсы категории P_3) к рудным узлам и полям (ресурсы категории P_2) и далее к месторождениям (ресурсы категории P_1). Весьма важным и привлекательным в новой классификации является то, что для количественной и качественной оценки ресурсов категорий А, В, C_1 , C_2 и P_1 предусмотрено использование представления о промышленных типах месторождений, категории P_2 — представления о формационных (или генетических) типах и категории P_3 — представления о генетических типах месторождений. Эти положения классификации четко обуславливают разграничение понятий о промышленных, формационных и генетических типах месторождений.

Рассматривая новую классификацию как крупный шаг в улучшении качества подготовки разведанных запасов полезных ископаемых и их комплексного использования, нельзя не отметить ее большого значения для дальнейшего повышения эффективности геологоразведочных работ, особенно при выявлении и изучении месторождений на ранних стадиях. В настоящее время уже приняты практические меры по повышению роли запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов (категорий P_1 , P_2 и P_3) твердых полезных ископаемых как конечных результатов предварительной разведки,

поисковых, региональных геологосъемочных и геофизических работ.

Так, Временное положение о классификации прогнозных ресурсов, подготовке и учете запасов категории C_2 твердых полезных ископаемых, введенное в действие в июле 1981 г., определяет прогнозные ресурсы категории P_3 как один из конечных результатов мелко- и среднемасштабных геологических съемок, региональных прогнозно-металлогенических, геофизических и геохимических исследований. На основе ресурсов этой категории осуществляется планирование крупномасштабных геологических съемок и поисков месторождений полезных ископаемых. Ресурсы категории P_2 являются конечным результатом геологической съемки масштаба 1 : 50 000 и поисков. Наличие этих ресурсов должно обосновываться положительно оцененными проявлениями полезных ископаемых, а также геофизическими и геохимическими аномалиями. Ресурсы категории P_2 служат базой для установления заданий на проведение поисково-оценочных работ. Ресурсы категории P_1 являются конечным результатом поисково-оценочных работ как на новых месторождениях, так и на разведываемых и разведанных месторождениях. Ресурсы данной категории — это надежно подготовленный геологический резерв для обоснованного выбора объектов под предварительную разведку и пообъектного планирования прироста запасов категории C_2 .

Запасы категории C_2 планируются, устанавливаются, подсчитываются и учитываются при проведении поисково-оценочных работ и разведке месторождений раздельно согласно установленному порядку. Определена также система использования запасов этой категории при геолого-экономической оценке месторождений. Так, на основе запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1 , полученных в результате выполненных поисково-оценочных работ, определяется целесообразность проведения предварительной разведки выявленного месторождения. По завершению предварительной разведки и подсчета в установленном порядке запасов категорий C_2 и C_1 даются рекомендации о проведении детальной разведки изучаемого объекта. В процессе детальной разведки, доразведки и эксплуатационной разведки запасы категории C_2 являются геолого-экономической базой для научно обоснованного планирования прироста разведанных запасов (категорий А, В и C_1).

Основные положения новых директивных документов, регламентирующие требования к обоснованию категорий запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых на том или ином этапе их изучения, обусловили настоятельную необходимость уточнения стадий геологоразведочных работ. Автором данной работы предложена [20] принципиальная схема взаимосвязи категорий запасов (ресурсов) твердых полезных ископаемых с конечными результатами уточненных стадий геологоразведочных работ, а также группировка запасов (ресурсов) применительно к стадиям работ и изучаемым геологическим объектам разных масштабов (табл. 10). Указанные соотношения категорий запасов

Взаимосвязь стадий и конечных результатов геологоразведочных работ

| Геологоразведочные работы | | Конечные результаты | | Группа запасов (ресурсов) |
|---------------------------|---|---|--|---------------------------------------|
| Вид | Стадия | Оценка запасов (ресурсов) применительно к геологическим объектам | Соотношение категорий запасов (ресурсов) | |
| Региональные | Мелко- и среднемасштабные геологосъемочные и геофизические работы | Количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов потенциально перспективных провинций, бассейнов, рудных районов и зон, произведенная по предположительным параметрам на основе аналогии с более изученными объектами соответствующего масштаба, где имеются разведанные месторождения того же генетического типа | $P_3(100\%)$ | Прогнозные |
| Поисковые | Поисково-съемочные работы | Количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов в пределах оконтуренных рудных узлов и полей с установленными проявлениями полезных ископаемых, геофизическими и геохимическими аномалиями, произведенная на основе аналогии с известными месторождениями того же формационного типа | $P_2(100\%)$ | Прогнозные и предварительно оцененные |
| | Поисково-оценочные работы | Количественная и качественная оценка запасов (ресурсов) полезного ископаемого в пределах обоснованных границ месторождения или благоприятных структур, произведенная на основе представлений о промышленном типе месторождения и требований оценочных кондиций | $P_1(50-80\%)$ $C_2(20-50\%)$ | |
| Разведочные | Предварительная разведка | Количественная и качественная оценка предварительно разведанных | $C_2(50-80\%)$ $C_1(20-50\%)$ | Предварительно оцененные |

| Геологоразведочные работы | | Конечные результаты | | Группа запасов (ресурсов) |
|---------------------------|---------------------------|---|---|---------------------------|
| Вид | Стадия | Оценка запасов (ресурсов) применительно к геологическим объектам | Соотношение категорий запасов (ресурсов) | |
| Разведочные | | запасов полезного ископаемого в пределах установленного контура всего месторождения или отдельных его рудных тел, произведенная на основе требований временных кондиций | | |
| | Детальная разведка | Количественная и качественная оценка разведанных запасов полезного ископаемого в контурах изученных рудных тел месторождения или их частей, произведенная на основе требований постоянных кондиций | C_1 (50—80%) $A+B$ (20—50%) <hr/> C_2 (20—80%)* C_1 (20—80%)* | Разведанные |
| | Эксплуатационная разведка | Количественная и качественная оценка подготовленных к выемке разведанных запасов полезного ископаемого в контурах эксплуатационных блоков, произведенная на основе данных опробования горно-подготовительных, нарезных и очистных выработок | $A+B$ (100%) <hr/> C_2 (20—80%)* C_1 (20—80%)* | |

* Для месторождений 3-й и 4-й групп по сложности геологического строения.

(ресурсов) не противоречат основам дифференцированного подхода к их нормативному соотношению, заложенным в Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых [12].

Завершая краткий обзор основных проблем использования минерального сырья в мировом хозяйстве, нельзя не обратить внимание на то, что наряду с резким увеличением зарубежных публикаций по минерально-сырьевой проблеме наблюдается снижение достоверности информации о месторождениях полезных ископаемых по конъюнктурным или политическим соображениям. Более того, зарубежная статистика, как правило, не характеризует реальное состояние минерально-сырьевой базы стран несоциалисти-

ческого мира и отражает всего лишь степень ее подготовленности к прибыльному промышленному освоению без учета другой значительной части сырьевого потенциала — прогнозных ресурсов.

ГЛАВА 2

Основные положения классификаций месторождений редких металлов

Повышение эффективности и качества геологоразведочных работ невозможно без систематики месторождений полезных ископаемых, основанной на современных представлениях об условиях формирования и пространственном размещении рудных объектов. Разработка классификации месторождений олова, вольфрама и молибдена во многом осложняется чрезвычайным многообразием природных типов оруденения.

В данной главе предлагаются основные принципы обоснования и выделения промышленных типов месторождений редких металлов (олова, вольфрама и молибдена) на основе их генетических и формационных особенностей, а также экономических факторов. При этом широко использован опыт систематики месторождений указанных металлов, накопленный другими исследователями.

Систематика месторождений твердых полезных ископаемых

Современные представления об условиях локализации природных скоплений твердых полезных ископаемых в земной коре обычно находят свое выражение в классификациях месторождений, которые можно было бы разделить на три группы: генетические, формационные и промышленные. Эти группы классификаций не подчинены друг другу и не противопоставляются. Более того, они тесно взаимосвязаны и каждая способствует решению определенного круга вопросов изучения геологии полезных ископаемых, прогноза, поисков, разведки и оценки месторождений на соответствующей стадии геологоразведочных работ.

Генетические классификации месторождений полезных ископаемых, как правило, несут в себе некоторые черты гипотетичности, поскольку базируются на теории рудообразования и эмпирических данных о распределении рудного вещества в земной коре. Подобные классификации учитывают все многообразие генетических типов месторождений, составляющее основной предмет изучения геологии полезных ископаемых. В практических целях представления о генетических типах месторождений могут быть использованы при количественной и качественной оценке прогнозных ресур-

сов категории P_3 по завершению стадии региональных геолого-съемочных и геофизических работ.

Формационные классификации месторождений полезных ископаемых в основном отражают главные особенности геологической обстановки образования месторождений. Реальной базой построения таких классификаций служат наблюдаемые сообщества месторождений полезных ископаемых — рудные формации, многократно повторяющиеся в одном и том же наборе в различных районах мира. Геолого-структурные условия, в которых образуются такие ассоциации месторождений, расшифровываются с большей или меньшей точностью. Формационные классификации месторождений и представления о формационной принадлежности оруденения могут быть эффективно использованы при количественной и качественной оценке прогнозных ресурсов категории P_2 по завершению стадии поисковых работ в пределах рудных узлов и полей.

Под промышленными классификациями месторождений полезных ископаемых некоторые исследователи понимают классификации морфологических типов оруденения, которые построены на принципе группировки месторождений по форме рудных тел и особенностям их залегания во вмещающих породах. Морфологические классификации представляют определенный интерес при разведке и разработке месторождений.

Автор полагает целесообразным строить классификации промышленных типов месторождений на генетической и формационной основах с обязательным учетом социально-экономических, горно-геологических и географо-экономических критериев, определяющих промышленную значимость изучаемого объекта [17, 18, 19]. Такой подход позволяет эффективно использовать представления о промышленных типах оруденения не только при разведке и разработке месторождений, но и на ранних стадиях геологоразведочных работ, при количественной и качественной оценке прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 , а также запасов категории C_2 по завершению поисково-оценочных работ.

Для обобщения существующих представлений о генетической и формационной основе систематики промышленных типов оруденения редких металлов необходим краткий обзор наиболее известных классификаций месторождений этих металлов.

Оловорудные формации и классификации оловянных месторождений. Впервые принципы современной классификации месторождений олова были разработаны С. С. Смирновым в конце 1937 г. По признакам сходства геологических условий образования, тектоно-магматических особенностей, минерального и химического состава оловянных руд С. С. Смирнов выделил три формации: пегматито-пегматондную, кварц-касситеритовую и сульфидно-касситеритовую. Заложенные С. С. Смирновым принципы придавали классификации практическую направленность, обусловили и возможность ее использования при решении вопросов прикладной геологии. В последующем классификация С. С. Смирнова была

уточнена и дополнена О. Д. Левицким, Е. А. Радкевич и другими исследователями.

Е. А. Радкевич [36] по генетическим признакам выделила пять классов оловянного оруденения: оловоносные граниты, пегматиты и скарны, пневмогидротермальные и гидротермальные месторождения. В качестве более крупных подразделений классификация включает две геохимические группы (кремне-щелочную и сульфидно-железистую), объединяющие семь оловорудных формаций: оловоносных гранитов, оловоносных пегматитов, касситерит-кварцевую, оловоносных скарнов, касситерит-силикатную, касситерит-сульфидную и деревянистого олова (табл. 11). Классификация Е. А. Радкевич широко известна, признана большинством советских геологов и не утратила практического значения до настоящего времени.

М. П. Материковым [23] выделены три минералого-геохимические группы месторождений: силикатно-кварцевая (кремне-щелочная), силикатно-карбонатная (галоидно-борато-щелочноземельная) и силикатно-сульфидная (сульфидно-железистая). В состав этих минералого-геохимических групп входят также семь формаций оловорудных месторождений: апогранитная, пегматитовая, кварцевая, скарново-рудная, малосульфидная, сульфидная и деревянисто-оловянная. Выделение силикатно-карбонатной группы М. П. Материков обосновывает отличие ее от других групп по составу руд и вмещающих пород, геологическому положению, условиям залегания и форме рудных тел, а также особым подходом к методике поисков и разведки силикатно-карбонатных месторождений.

Не отходя в принципе от заложенных в классификации С. С. Смирнова основ, В. Т. Матвеевко и О. Н. Кабаков в 1968 г. предложили по существу новую систематику оловянных месторождений, в которой выделены 6 формаций (групп), 9 субформаций (подгрупп) и 34 минеральных типа оруденения. Число подразделений в схеме классификации увеличено ими на основании многообразия минерального состава руд месторождений, различных условий залегания рудных тел и других признаков.

В. К. Денисенко и Н. В. Никитин [16] рассматривают месторождения олова как совокупность либо родственных, близодновременно возникших минеральных парагенезисов, либо разнотипных и разновременных минеральных парагенезисов. Исследователи считают, что по формационной принадлежности месторождения олова могут быть отнесены как к одной рудной формации, так и к сочетанию нескольких формаций. В. К. Денисенко и Н. В. Никитин предлагают классификацию, где выделены семь оловорудных формаций (моноформационных месторождений): касситерит-кварц-полевошпатовая пегматитовая, касситерит-гранат-пироксеновая скарновая, касситерит-кварцевая грейзеновая, касситерит-силикатная турмалин-хлоритовая, касситерит-сульфидная пропилитовая, касситерит-риолитовая аргиллизитовая, касситерит-сульфиднокварцитовая скарноидная. Кроме того, в классификации

Схема классификации оловорудных месторождений (по Е. А. Радкевич)

| Связь с магматическими породами | Температура образования, °С | Генетические классы | Типоморфные минералы | | Геохимические серии минеральных формаций | | |
|---------------------------------|-----------------------------|--|--|---|---|---------------------------|---|
| | | | нерудные | рудные | Кремне-щелочная | Сульфидно-железистая | |
| | | | | | | в алюмосиликатных породах | в карбонатных породах |
| С интрузивами | 500—400 | Апомагматиты | Безводные силикаты и алюмосиликаты (с наложенными водными) | Соли кислородсодержащих кислот и окислы | Апограниты Грейзенизированные граниты с наложенной касситеритовой минерализацией | — | — |
| | 600—400 | Пегматиты | | | Апопегматиты | — | — |
| | 600—400 | Скарны | | | — | — | Апоскарновая с наложенной оловянной минерализацией. Типы: магнетитовый, сульфидный |
| | 500 | Пневмогидротермальные месторождения | Водные силикаты и алюмосиликаты | Касситерит-кварцевая Типы: кварц-полевошпатовый, кварц-топазовый, кварцевый, грейзеновый | — | — | |
| | 400 и ниже 300 250 | Гидротермальные месторождения: высокотемпературные среднетемпературные низкотемпературные | | | Сульфиды | — | Касситерит-силикатная Типы: турмалиновый, хлоритовый Касситерит-сульфидная. Типы: арсенопирит-пирротиновый, галенит-сфалеритовый, касситерит-карбонатный |
| С эффузивами | — | — | — | — | Деревянистого олова | — | — |

выделен ряд ассоциаций оловорудных формаций (полиформационных месторождений), в том числе скарново-грейзеновая, грейзеново-турмалин-хлоритовая, грейзеново-пропилитовая, грейзеново-турмалин-хлорит-пропилитовая.

В. В. Онихимовский и В. И. Гаврилов [25] в основу выделения оловорудных формаций и типов месторождений олова положили состав ведущих минеральных ассоциаций с учетом связи оруденения с определенными магматическими комплексами. В классификации вместо пегматитовой формации выделена касситерит-полевошпатовая, а касситерит-силикатная формация рассматривается как составная часть касситерит-сульфидной. По мнению указанных авторов, само определение «силикатная формация» условно и не отражает различия в существо оловорудных месторождений, которые (от пегматитов до хлоритовых залежей) являются силикатными образованиями.

В классификации Ю. Г. Иванова [8] для месторождений олова, расположенных на территории Приморского края, как и в систематике М. П. Материкова, выделена в качестве самостоятельной силикатно-карбонатная геохимическая группа. А. Б. Павловский [30] разработал для оловянных месторождений Тянь-Шаньского рудного пояса классификацию, где выделил две главных формации — вольфрам-оловянную и оловянную. Основной признак, по которому он относит месторождение к той или иной формации, — ведущий металл или группа металлов при возможном существенном различии парагенетических минеральных ассоциаций руд месторождений. Отмечая ряд минерально-геохимических и морфогенетических особенностей оловянных месторождений Тянь-Шаньского рудного пояса, А. Б. Павловский в то же время подчеркивает, что выделяемые им оловорудные формации в общих чертах соответствуют формациям, выделенным в классификации Е. А. Радкевич.

В. С. Кормилицын [14] в систематике месторождений олова Забайкалья доказывает, что строгая общность минерального состава руд месторождений не является обязательным признаком конкретной рудной формации. Главный критерий систематики В. С. Кормилицына — наличие генетической и парагенетической связи сообществ месторождений с магматическими комплексами определенного состава и возраста, сформировавшимися в различные стадии тектонического развития региона. В рудную формацию им включены все гидротермальные образования, связанные с определенной магматической формацией, в том числе металлические и неметаллические проявления полезных ископаемых.

В классификации С. Ф. Лугова и Б. В. Макеева [22], разработанной для оловянных месторождений Северо-Востока СССР, учтены история геологического развития региона и особенности тектоно-магматических процессов, геолого-структурная позиция и связь оруденения с магматизмом, состав минеральных ассоциаций и основные черты геохимии оловянной минерализации. При разработке классификации С. Ф. Лугов и Б. В. Макеев исходили из представлений об оловорудной формации как о группе месторож-

дений и рудопроявлений олова с устойчивыми и близкими по составу минеральными комплексами (ассоциациями), образовавшимися в сходных геологических условиях и генетически связанными с гранитоидными образованиями единого комплекса, которому присущи строго определенные петрохимические и геохимические черты. Каждая оловорудная формация включает в себя несколько различных по составу минеральных типов (фаций). Фации, сходные по происхождению, обычно пространственно разобщены.

С. Ф. Лугов и Б. В. Макеев внесли ряд уточнений, дополняющих характеристику оловорудной формации:

— месторождения различных формаций, находящиеся в пределах единой оловоносной провинции, являются, как правило, разновозрастными образованиями;

— месторождения, связанные с единым магматическим комплексом, относятся к одной оловорудной формации;

— ареалы развития оруденения одной формационной принадлежности обычно четко обособляются в пространстве, совпадая в общих чертах с ареалами развития материнского гранитоидного комплекса;

— для каждой оловорудной формации характерна типовая последовательность рудоотложения с определенным набором минералов, отлагающихся в пределах каждой стадии;

— образование минеральных типов (фаций оруденения) в пределах оловорудной формации обусловлено гипогенной рудной зональностью, характерной для конкретной формации и локальных структурно-геологических особенностей участка рудоотложения;

— оловоносные скарны целесообразно рассматривать как минеральный тип (фацию) оруденения кварц-касситеритовой или силикатно-касситеритовой формации, а не как самостоятельную формацию, поскольку главная масса касситерита здесь всегда отлагалась после комплекса скарновых минералов;

— оловоносные грейзены не относятся исключительно к кварц-касситеритовой формации, как минеральные типы они могут также быть формационной принадлежностью силикатно-касситеритовой формации при соответствующей вмещающей среде и благоприятной геолого-структурной обстановке;

— оруденение с деревянистым касситеритом как минеральный тип входит в сульфидно-касситеритовую формацию, хотя возможно выделение этого вида оруденения в качестве самостоятельной формации, характерной для притихоокеанских вулканических поясов.

Таким образом, в классификации С. Ф. Лугова и Б. В. Макеева выделены четыре формации оловянного оруденения: оловоносных редкометалльных пегматитов, касситерит-кварцевая, касситерит-силикатная и касситерит-сульфидная. Классификация построена на формационной основе и позволяет независимо от взглядов на генезис достаточно четко разделять оловянные месторождения. Главная особенность классификации — обобщение характерных признаков каждой оловорудной формации, что может быть использо-

вано для прогноза и поисков оловянного оруденения конкретных формационных типов.

Вольфраморудные формации и классификации вольфрамовых месторождений. Вопросы металлогении вольфрама наиболее полно отражены в работах В. Ф. Алявдина, Ф. Р. Апельцина, Т. В. Буткевича, А. М. Быбочкина, В. К. Денисенко, Ю. Г. Иванова, Е. П. Малиновского, Д. О. Онтоева, В. Д. Отрощенко, Е. С. Павлова, М. М. Повилайтис, В. Т. Покалова, Е. А. Радкевич, Д. В. Рундквиста, В. И. Сотникова, Б. С. Чернова, А. Д. Щеглова. Особое внимание в работах большинства указанных исследователей уделено систематике вольфраморудных месторождений. Однако во многих случаях предпочтение отдавалось выделению генетических типов и их группировке по глубине расположения рудоносных интрузивов, минеральному составу руд, температурам или глубинам образования рудных тел, особенностям их поисков и т. д. Был предложен также ряд классификаций месторождений вольфрама, разработанных на основе формационного анализа.

Так, А. Д. Щегловым в 1964 г. разработана систематика вольфрамовых месторождений, в которой выделены семь рудных формаций: 1) шеелитовых месторождений, парагенетически связанных с малыми доботолитовыми интрузиями диоритов, гранодиоритов и реже гранит-порфиров; 2) шеелитовых месторождений, генетически связанных с соскладчатыми (?) интрузиями умеренно кислых гранитов; 3) вольфрамитовых месторождений, генетически связанных с многофазными соскладчатыми и позднескладчатыми интрузиями кислых и ультракислых гранитов; 4) вольфрамитовых месторождений, генетически связанных с трещинными послескладчатыми интрузиями гранит-порфиров и биотитовых гранитов; 5) вольфрамитовых месторождений, приуроченных к зонам долгоживущих разломов вне видимой связи с интрузиями; 6) вольфрамитовых месторождений, генетически связанных с приповерхностными трещинными интрузиями гранит-порфиров и биотитовых гранитов; 7) вольфрамитовых месторождений, генетически связанных с трещинными интрузиями гранит-порфиров и лейкократовых гранитов. Две последние рудные формации обычно распространены в областях автономной активизации земной коры.

В основу разработанной А. М. Быбочкиным [1] классификации вольфрамовых месторождений положены особенности развития рудного процесса, минерального состава руд и вмещающих пород, окolorудных изменений, связи оруденения с магматическими комплексами. В классификации выделены четыре генетические группы (пегматитовая, гидротермальная, контактово-метасоматическая и россыпи). Каждая группа объединяет соответствующие типы месторождений (всего 17 типов).

В группировке вольфрамовых месторождений территории Приморья [9] в качестве элементарной классификационной ячейки взят минеральный тип оруденения; названия минеральным типам даны по составу главных рудных минералов (шеелит-колчеданный,

шеелит-молибденитовый, вольфрамитовый и т. д., всего 9 типов). Гомологичные минеральные типы оруденения объединены в четыре рудные формации: скарново-грейзеновую, скарновую, грейзено-кварцевожилльную, кварц-сульфидножилльную. Ю. Г. Иванов считает, что каждая из выделенных им формаций характеризуется специфическими геолого-тектоническими условиями формирования, разными формами связи с магматическими телами и различными источниками рудного вещества.

В классификации В. Д. Отрощенко [27] для месторождений вольфрама Тянь-Шаня оруденение систематизировано по генетическим группам, рудным формациям и минеральным типам на основании признаков: устойчивые ассоциации металлов, определяющие экономическую значимость руд; близодновременное образование рудных концентраций как продуктов смежных процессов рудообразования; геологическая обстановка, в которой происходило формирование руд. В. Д. Отрощенко выделил 20 вольфраморудных формаций и предложил дифференцировать их на монометалльные (вольфрамовую в гранитах, вольфрамовую в известковых скарнах, вольфрамовую в кварцевых жилах и т. д.) и полиметалльные (олово-вольфрамовую в гранитных пегматитах, молибден-вольфрамовую в известковых скарнах, вольфрамово-золоторудную в кварцевых жилах и т. д.). Вторая часть наименований рудных формаций, по мнению автора классификации, должна отражать определенные условия формирования месторождений в той или иной геологической среде, которая влияет на процессы рудоотложения и определяет минеральные типы оруденения.

В основу систематики эндогенных месторождений вольфрама В. К. Денисенко [16] положен структурно-вещественный подход, предусматривающий выделение в качестве классификационной ячейки рудной формации. Автор рассматривает два основных случая возможной типизации месторождений на основе понятия о рудных формациях: 1) месторождение по особенностям состава и строения соответствует какой-либо одной формации (моноформационное месторождение) и 2) месторождение обладает чертами строения нескольких рудных формаций, т. е. соответствует их сочетанию (полиформационное месторождение). В. К. Денисенко выделил девять вольфраморудных формаций, соответствующих моноформационным месторождениям. В названии рудных формаций (шеелит-гранат-пироксеновая скарновая, вольфрамит-кварцевая грейзеновая и т. д.) отражены основной рудный минерал и жильный парагенезис, а также преобладающий тип околорудного гидротермального изменения.

В предложенной классификации В. К. Денисенко приводит примеры возможных ассоциаций рудных формаций, отвечающих полиформационным месторождениям. Так, сочетание указанных выше двух формаций и гюбнерит-сульфидно-кварцевой березитовой формации образует «скарново-грейзеново-березитовую» ассоциацию формаций, название которой указывает на типы околорудного изменения, характерные для данных рудных формаций. По

мнению В. К. Денисенко, наибольшее практическое значение имеют полиформационные месторождения, образованные ассоциациями простых рудных формаций.

В понимании М. М. Повилайтис [32], рудная формация — это полный или неполный ряд месторождений одной генетической группы с одинаковым набором (два или более) ведущих металлов и сходными геологическими условиями образования. В классификации, предложенной М. М. Повилайтис, по естественным ассоциациям ведущих металлов выделены семь вольфрамоворудных формаций: редкометалльно-вольфрамовая, оловянно-вольфрамовая, молибден-вольфрамовая, золото-вольфрамовая, медно-вольфрамовая, сурьмяно-вольфрамовая, серебряно-вольфрамовая. Указанные формации объединены в восемь генетических групп. Минеральные типы вольфрамового оруденения выделены по ведущим непромышленным рудным и нерудным минералам (пирротинный, мусковит-кварцевый и т. д.).

В классификации месторождений вольфрама, разработанной Ф. Р. Апельциным [2], учтены формационные, морфогенетические и минеральные типы вольфрамового оруденения, которые в разной мере являются поставщиками этого металла. Под формацией (формационной группой) здесь понимается совокупность месторождений различных генетических и морфологических типов, связанных общностью геотектонических особенностей и магматизма районов локализации и сходных по минералого-геохимическим особенностям продуктивной вольфрамовой минерализации» [2].

Ф. Р. Апельцин выделил три формации (или группы формаций) вольфрамовых месторождений: олово-вольфрамовую, молибден-вольфрамовую и полиметаллически-вольфрамовую. Каждой формации (группе формаций) соответствует ряд морфогенетических типов собственно вольфрамовых и комплексных месторождений, минеральный состав которых подчеркивает геохимические особенности данной формации (или группы формаций).

Олово-вольфрамовая группа

Олово-вольфрамово-скарновый
Олово-вольфрамово-грейзеновый
Олово-вольфрамовый кварцево-жильный
Олово-вольфрамовый железо-силикатный (жильно-метасоматический)

Молибден-вольфрамовая группа

Молибден-вольфрамово-скарновый
Молибден-вольфрамово-грейзеновый
Сульфидно-сульфосольно-вольфрамовый (жильный)
Кварц-силикатно-вольфрамовый (штокверковый)

Полиметаллически-вольфрамовая группа

Сульфидно-вольфрамовый скарново-грейзеновый
Сульфидно-вольфрамовый кварцево-жильный
Колчеданно-вольфрамовый жильно-эксталяционный
Халцедон-сурьмяно-вольфрамовый жильно-штокверковый

Месторождения разных типов внутри конкретной формации различаются как генетическими (или фациальными) чертами формирования основного минерального парагенеза, так и особенностями предрудного гипогенного преобразования вмещающих пород. Предложенная Ф. Р. Апельциным классификация вольфрамовых месторождений как и рассмотренная выше классификация для оловянных месторождений, разработанная С. Ф. Луговым и Б. В. Макеевым, может быть наиболее эффективно использована в практике прогноза и поисков конкретных формационных типов соответствующего оруденения.

Молибденоворудные формации и классификации молибденовых месторождений. Результатом одной из псевых попыток систематизировать месторождения молибдена на формационной основе явилась классификация Н. А. Хруцова, в которой выделены десять молибденоносных формаций, в том числе для эндогенных месторождений: молибденитовая, кварц-молибденитовая, молибденит-шеелитовая в скарнах, кварц-вольфрамит-грейзеновая с молибденитом, кварц-молибденит-серицитовая, кварц-молибденит-халькопирит-серицитовая, колчеданная с молибденитом, уранинит-молибденитовая. Каждая характеризуется строго выдержанным набором месторождений определенной промышленной ценности, сформировавшихся в соответствующих геологических условиях. В последующем вопросы систематики молибденоворудных формаций и месторождений нашли отражение в работах В. Т. Покалова, В. И. Рехарского, И. Г. Павловой и ряда других исследователей.

В. Т. Покалов [33] выделяет семь генетических классов молибденовых месторождений, которые объединяют девять типов оруденения с различным составом рудных компонентов (табл. 12). При этом все молибденовые месторождения разделяются на три группы — рудные формации (вольфрам-молибденовую, молибденовую и медно-молибденовую), характеризующиеся общностью только им присущих ассоциаций рудных элементов и геологических факторов, которые определяют их закономерное размещение в земной коре.

И. Г. Павлова и Г. В. Александров [16] предлагают разделить молибденовые месторождения по характеру взаимосвязи с определенными геологическими формациями на одиннадцать групп, соответствующих самостоятельным рудным формациям. Месторождения выделенных формаций различаются ассоциациями с магматическими породами разного состава, особенностями сопровождающих оруденение гидротермальных пород, морфологией и размерами рудных тел, промышленной значимостью и т. д.

Несмотря на разный подход указанных авторов к систематике молибденоворудных формаций и месторождений, все они высказывают единое мнение о первостепенном промышленном значении месторождений трех формаций: вольфрам-молибденовой, молибденовой и медно-молибденовой.

Как показывает анализ опубликованных классификаций месторождений редких металлов, в большинстве из них за основу взят

Эндогенные проявления молибдена (по В. Т. Покалову, 1978 г.)

| Генетический класс | Тип оруденения | |
|--------------------|---|---|
| | по рудным компонентам | по морфологии проявления |
| Пегматитовый | Разный с наложенным молибденом | Жильный |
| Карбонатитовый | Редкоземельный с наложенным молибденом и другими металлами (Cu, Zp, Pb) | Зоны и участки прожилкового оруденения |
| Скарновый | Вольфрам-молибденовый Молибденовый Медно-молибденовый | Залежи пласто-, линзообразной и других более сложных форм |
| Альбититовый | Редкометалльный с наложенной молибденовой минерализацией | Зоны и участки неправильной формы прожилково-вкрапленного оруденения |
| Грейзеновый | Вольфрам-оловянный с молибденом, висмутом и редкими металлами | Жильный, меньше штокверковый |
| | Вольфрам-молибденовый | Штокверковый Жильный Трубки и зоны брекчиевых руд Залежи линзо- и столбообразной и других форм |
| Гидротермальный | Молибденовый | Штокверковый Жильный |
| | Медно-молибденовый | Штокверковый Жильный Трубки и зоны брекчиевых руд |
| | Уран-молибденовый | Штокверковые зоны, жилы |
| Колчеданный | Медный с молибденом | Залежи пластообразной и других более сложных форм |

главным образом минеральный состав руд или процесс их образования. Неполный учет в классификациях ряда геологических факторов (особенностей формирования структур, проявления рудоносного магматизма в истории их развития и др.) во многих случаях приводит к неправильной интерпретации геологической информации. Формальное использование только генетических признаков неизбежно ведет к необоснованным выводам о наличии на одном месторождении нескольких рудных формаций, что вызывает излишние дискуссии о генезисе месторождения.

Создание классификаций месторождений, которые носили бы не только научно-познавательный характер, но и могли бы быть использованы в практике прогноза промышленного оруденения на конкретных площадях, научного обоснования направлений поисковых работ и оценки месторождений, представляет собой весьма сложную задачу. При разработке подобной систематики необходим объективный учет важнейших геологических критериев, определяющих формирование и размещение промышленных скоплений полезных ископаемых в земной коре.

Обоснование промышленных типов месторождений редких металлов и принципиальная схема их группировки

Редкометальное оруденение характеризуется многообразием природных типов и размещением их в различной геолого-структурной обстановке. Вместе с тем далеко не все из них представляют в настоящее время промышленный интерес. Понятие о промышленных типах месторождений полезных ископаемых впервые было сформулировано В. М. Крейтером в начале 60-х годов и в дальнейшем развито В. И. Смирновым, А. Б. Кажданом и другими исследователями. По определению В. М. Крейтера, промышленным типом месторождений какого-либо вида минерального сырья называется такое природное геолого-минералогическое проявление, которое при эксплуатации в сумме (для всего мира) дает добычу, выражающуюся целыми процентами или составляющую, по крайней мере, один процент мировой добычи.

Понятие о промышленных типах месторождений, как справедливо отмечает А. Б. Каждан [10], имеет не только прикладное, но и важное теоретическое значение, поскольку именно промышленные типы месторождений представляют собой главный предмет исследований поисково-разведочной науки, в то время как все многообразие генетических типов месторождений составляет основной предмет изучения геологии полезных ископаемых.

Значение промышленных типов месторождений полезных ископаемых особенно необходимо на ранних стадиях геологоразведочных работ для предварительного суждения о перспективах выявляемых объектов и их геолого-экономической оценки, когда фактических данных еще мало и дополнительная информация может

быть получена только по принципу аналогии с другими сходными и детально изученными месторождениями.

Принцип аналогии подразумевает, что в однотипных месторождениях, сформированных в близкой геологической обстановке и обладающих близким вещественным составом руд, проявляются более или менее ярко выраженные черты сходства. В соответствии с этим принципом разработаны различные классификации и группировки месторождений. Все они преследуют одну цель — создать эталоны, характеризующие особенности размещения, геологического строения и изменчивости свойств типичных месторождений. С помощью разработанных эталонов можно было бы по принципу аналогии прогнозировать свойства новых изучаемых объектов. В качестве эталонов могут служить промышленные типы оруденения, представления о которых складываются из мирового опыта поисков, разведки и эксплуатации сходных месторождений.

Вопрос о группировке месторождений полезных ископаемых по промышленным типам не нов и неоднократно обсуждался в геологической литературе. Многообразие и сложность геологоструктурного положения оруденения, целенаправленность систематики месторождений обусловили различные принципы в подходе авторов к рассматриваемому вопросу. В одних промышленных классификациях месторождения группируются по форме рудных тел и особенностям залегания во вмещающих породах. Построение других классификаций исходит из генетических и геолого-экономических позиций.

Несмотря на разный подход авторов к группировке месторождений по промышленным типам, существующие схемы классификации имеют одну особенность — они, как правило, охватывают все известные генетические типы оруденения. Между тем среди большого количества известных природных типов оруденения лишь весьма ограниченная группа месторождений определенных формаций играет основную роль в балансе запасов и является ведущей в добыче того или иного вида минерального сырья (табл. 13). Так, например, в мировой * практике более 75 % олова добывается из россыпей, в которых заключено около 65 % запасов, остальные приходятся на долю месторождений других формаций. В СССР главными поставщиками олова служат месторождения силикатно-касситеритовой, сульфидно-касситеритовой и кварц-касситеритовой формаций; месторождения других формаций, включая и россыпи, играют подчиненную роль.

Группировка месторождений по промышленным типам определяется главным образом совокупностью технологических, горно-геологических и экономических признаков. Качество и технологические свойства руд зависят от их вещественного состава и комплекса промышленно-ценных минералов; горно-геологические условия разработки месторождений — от характера связи оруде-

* Здесь и далее сведения об использовании минерального сырья приводятся без учета данных по социалистическим странам.

Распределение мировых запасов и добычи олова, вольфрама и молибдена

| Группа формаций | Формации | Удельный вес, % | |
|------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | от достоверных запасов | от общего объема добычи |
| Оловорудные | Оловоносные пегматиты | 1 | 1 |
| | Кварц-касситеритовая | 8 | 5 |
| | Оловоносные скарны | 5 | 2 |
| | Силикатно-касситеритовая | 10 | 7 |
| | Сульфидно-касситеритовая | 11 | 10 |
| Вольфрамоворудные | Олово-вольфрамовая | 96 | 98 |
| | Молибден-вольфрамовая | | |
| | Полиметаллически-вольфрамовая | | |
| | Редкометалльно-вольфрамовая | 3 | Нет свед. |
| | Золото-вольфрамовая | | |
| Сурьмяно-вольфрамовая | | | |
| Серебряно-вольфрамовая | | | |
| Медно-вольфрамовая | | | |
| Молибденоворудные | Вольфрам-молибденовая | 34 | 14 |
| | Молибденовая | 35 | 48 |
| | Медно-молибденовая | 30 | 38 |
| | Редкометалльно-молибденовая | 0,9 | Нет свед. |

* Данные по оловорудным формациям изложены по материалам С. Ф. Лугова и Б. В. Маекеева [22], вольфраморудным—по материалам М. М. Повилайтис [32], молибденоворудным—по материалам В. Т. Покалова [33] с добавлениями автора.

нения с элементами геологического строения и типа рудоконтролирующей структуры, условий залегания и морфологических особенностей рудных тел; экономическая эффективность использования месторождений—от их масштаба и сочетания горно-геологических, технологических и географо-экономических факторов. В свою очередь перечисленные свойства месторождений зависят от геологических условий их формирования, минерального и химического состава руд, т. е. от совокупности признаков, служащих основой для выделения рудных формаций.

Месторождения сходного генезиса и состава руд, объединенные в рамках одной рудной формации, обычно характеризуются выдержанными условиями залегания и морфологическими особенностями независимо от места и времени образования. Все это обуславливает целесообразность классификации промышленных типов месторождений на генетической и формационной основе.

С целью установления формационной принадлежности промышленных типов месторождений необходимо уточнить совокупность

классификационных признаков и критериев для оценки подобия этих месторождений. Обоснование каждого промышленного типа месторождений может быть осуществлено следующими классификационными признаками [10, 11]:

— характером связи оруденения с элементами геологического строения и типом рудоконтролирующей структуры, влияющим на локализацию рудных тел;

— минеральным и химическим составом руд, определяющим их качество, технологические свойства и комплекс промышленно-ценных минералов;

— морфологическими особенностями рудных тел, условиями их залегания и закономерностями размещения полезных компонентов в промышленных контурах, определяющих горно-геологические особенности разработки месторождения;

— масштабом месторождения, экономической эффективностью его разработки и относительным значением конкретного промышленного типа как поставщика данного вида минерального сырья.

Совокупность перечисленных классификационных признаков определяет не только промышленный тип оруденения, но и его прогнозные, поисковые и оценочные критерии. Специализированные геологическая съемка и поиски проводятся в пределах территорий, на которых в соответствии с принципом последовательных приближений в общем случае прогнозируются рудные объекты. По мере укрупнения масштаба исследований детальность формационного расчленения групп изучаемых объектов возрастает, а роль ведущих критериев подобия переходит от одних признаков сходства к другим.

Такой прием отвечает принципам системного подхода к изучению недр, так как в качестве объекта изучения последовательно выступают рудные районы, рудные зоны, рудные узлы, рудные поля и месторождения. При этом для рудных районов, зон и узлов выделяются рудные формации, а для рудных полей и месторождений — минеральные типы в пределах рудных формаций. Для выявления рудных формаций принципиальное значение имеют следующие критерии подобия: положение оруденения в истории развития древних платформ и срединных массивов, складчатых областей и вулканогенных поясов; структурная позиция рудоносных участков земной коры; устойчивые связи оруденения с формациями магматических или метаморфических пород. При расчленении рудных формаций на минеральные типы могут быть использованы локальные условия рудоотложения (структурно-геологическая неоднородность участков, характер вмещающей среды и т. д.), устойчивые связи оруденения с околорудными метасоматитами и петрографическими особенностями магматических и метаморфических пород.

По совокупности перечисленных критериев выделяется ряд наиболее важных в промышленном отношении формаций: оловорудные — кварц-касситеритовая, силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая; вольфраморудные — олово-вольфрамовая, мо-

либден-вольфрамовая и сульфидно-вольфрамовая; молибденово-рудные — вольфрам-молибденовая, молибденовая и медно-молибденовая. В составе указанных формаций намечается шесть наи-

Т а б л и ц а 14

Промышленные типы и характерные элементы месторождений редких металлов

| Промышленный тип | Формации | | |
|------------------|---|--|--|
| | оловорудные | вольфрамоворудные | молибденоворудные |
| Скарновый | Кварц-касситеритовая Силикатно-касситеритовая Sn; W—Sn; (Pb—Zn)—Sn | Олово-вольфрамовая Молибден-вольфрамовая Сульфидно-вольфрамовая W; Sn—W; Mo—W; (Pb, Zn, Cu, Bi)—W | Вольфрам-молибденовая Молибденовая Mo; W—Mo; Cu (Bi, Au)—Mo |
| Грейзеновый | Кварц-касситеритовая Sn; W—Sn | Олово-вольфрамовая Молибден-вольфрамовая W; Sn—W; Mo—W; Mo (Cu—Au)—W | Вольфрам-молибденовая Молибденовая Mo; W (Cu, Zn, Bi)—Mo |
| Кварцевый | Кварц-касситеритовая Sn; W (Ta, Nb)—Sn | Олово-вольфрамовая Молибден-вольфрамовая W; Sn (Ta, Nb)—W; Mo (Bi)—W | Молибденовая Mo; Cu (Au)—Mo |
| Силикатный | Силикатно-касситеритовая Sn; W (Pb, Zn, Cu)—Sn | Олово-вольфрамовая W; Sn (Pb, Zn, Cu)—W | — |
| Сульфидный | Силикатно-касситеритовая Сульфидно-касситеритовая (Pb, Zn, Cu, Ag)—Sn | — | — |
| Порфиновый | — | — | Медно-молибденовая Cu (Bi, Au, Ag)—Mo |

более распространенных минеральных типов оловянного, вольфрамового и молибденового оруденения: скарновый, грейзеновый, кварцевый, силикатный, сульфидный и порфиновый. Каждый из минеральных типов соответствует самостоятельному промышленному типу месторождений (табл. 14). Такой подход к обоснованию промышленных типов месторождений редких металлов обусловлен различием в вещественном составе и технологических свойствах руд выделенных минеральных типов, в присущих им ассоциациях рудных элементов, а также разным геолого-структурным положением и пространственной разобщенностью и неодинаковым значением в балансе запасов и добычи металлов.

Таким образом, на основе генетического и формационного анализа выделено пять промышленных типов оловянных месторождений (кварцевый, грейзеновый, скарновый, силикатный и сульфидный), четыре типа вольфрамородных (скарновый, грейзеновый, кварцевый и силикатный) и четыре типа молибденовородных (скарновый, грейзеновый, кварцевый и порфиновый). Шестым промышленным типом оловянных и пятым вольфрамовых месторождений могут служить соответствующие россыпи, образовавшиеся в результате разрушения коренных месторождений.

Как видно из приведенных в табл. 14 данных, ряд промышленных типов месторождений имеет двойственную или тройственную формационную принадлежность. Так, в группе оловянных формаций к таким типам месторождений относятся скарновый и сульфидный; в группе вольфрамородных — скарновый, грейзеновый и кварцевый; в группе молибденовородных — скарновый и грейзеновый. Полиформационная принадлежность отдельных типов редкометального оруденения обусловлена тем, что генетические особенности образования месторождений одного и того же промышленного типа в ряде случаев повторяются в пределах некоторых близких формаций при значительном отличии условий локализации оруденения, его минерального состава и т. д.

Разработанная на генетической и формационной основе классификация рудных объектов позволяет эффективно использовать представления о промышленных типах редкометальных месторождений на ранней стадии геологоразведочных работ. В дальнейшем при разведке и разработке месторождений важное значение приобретают также морфологические особенности рудных тел, специфические для каждого промышленного типа. Так, рудные тела скарнового типа обычно представлены залежами сложной пластообразной, реже жилообразной формы; грейзенового и порфирового типов — минерализованными зонами, штокверками и штокверкообразными залежами; кварцевого типа — штокверковыми залежами и жилами; силикатного и сульфидного типов — минерализованными зонами и жилами, реже штокверковыми залежами.

В процессе развития земной коры для оловянного оруденения отмечается закономерная последовательность как в изменении интенсивности проявления, так и в смене формационных типов: от оловоносных пегматитов к сульфидно-касситеритовой формации, от простого вещественного состава руд к сложным минеральным ассоциациям. При этом промышленные скопления оловянных руд обычно принадлежат одной из трех важнейших в промышленном отношении оловорудных формаций: кварц-касситеритовой, силикатно-касситеритовой или сульфидно-касситеритовой.

Исходя из генетических и формационных особенностей оловянного оруденения и экономических факторов, автором выделено шесть промышленных типов месторождений олова: кварцевый, грейзеновый, скарновый, силикатный, сульфидный и оловоносные россыпи (табл. 15). Учитывая особенности пространственного размещения относительно рудогенерирующего источника, минеральный и химический состав руд, доминирующую роль в запасах отдельных оловорудных районов, силикатный промышленный тип оруденения подразделяют на два подтипа — турмалиновый и хлоритовый. По аналогичным соображениям в составе сульфидного промышленного типа выделяют также два подтипа — многосульфидный и сульфидно-сульфосольный.

Кварцевый тип

Данный тип месторождений принадлежит исключительно кварц-касситеритовой формации. Площади его преимущественного развития обычно размещаются в антиклинальных структурах ранней консолидации геосинклинально-складчатых систем, зонах активизации платформ, древних щитов и срединных массивов, иногда приурочены к крупным структурным швам.

В антиклинальных структурах ранней консолидации оловянное оруденение тяготеет к нарушениям, согласным с общескладчатым направлением, часто сопровождается крупными (батолитоподобными) интрузивами гранитоидов. В геологическом строении оловоносных площадей складчатых областей участвуют песчано-сланцевые, реже карбонатные породы и осадочно-вулканогенные образования. Основная часть промышленного оруденения локализуется в среднем и верхнем структурных ярусах, пространственно тяготея к гранитным массивам.

Оловоносные площади на срединных массивах сложены гранито-гнейсовыми комплексами, кристаллическими сланцами и гранитоидами, которые прорываются интрузивами гранитов более молодого возраста, обычно соответствующего орогенному этапу

складчатости прилегающей геосинклинальной области. Батолито-подобные тела рудоносных гранитоидов сложены средне- и крупнозернистыми биотитовыми гранитами, сменяющимися в эндоконтактовой части мелкозернистыми разностями или (значительно реже) гранодиоритами. Массивы гранитоидов часто выполняют разрывы, согласные нарушениям основных складчатых структур. Гранитные интрузивы или апикальные их части местами вскрыты эрозией, но большей частью находятся на некоторой глубине. В последнем случае в их надкупольных зонах отчетливо наблюдаются локальные поля ороговикования и турмалинизации с повышенными содержаниями бора и олова.

Рудовмещающими структурами служат трещинные системы в эндо- и экзоконтактовых частях гранитных интрузивов и в надкупольных зонах. Процесс формирования руд в трещинных системах обычно многостадийный. Наиболее интересное в промышленном отношении оруденение связано с ранними стадиями минералообразования, для которых характерна тесная генетическая ассоциация кварца, касситерита, вольфрамита и мусковита. Последующие стадии слабо проявлены и не имеют существенного значения. Рудные тела месторождений кварцевого типа представлены штокверковыми залежами (рис. 1), минерализованными зонами, реже простыми и сложными жилами (рис. 2, 3).

Штокверковые залежи часто размещаются в апикальных частях гранитоидных интрузивов и состоят из серий субпараллельных, сближенных и ветвящихся кварц-касситеритовых жил и прожилков обычно с переменным количеством вольфрамита, иногда с сульфидами. Рудные тела расположены кулисообразно, имеют невыдержанное простирание, падение и мощность (месторождения Пыркакайского рудного узла и др.).

В отличие от других типов оруденения кварц-касситеритовой формации оруденение кварцевого типа нередко прослеживается в надкупольной зоне на значительном удалении от скрытых выступов материнских интрузивов. Рудные тела (жилы) с касситеритом и вольфрамитом широко распространены на всей площади месторождений и связаны с массивами гранитов, часто не выходящими на дневную поверхность (месторождение Иультин и др.) Промышленное оруденение обычно локализуется в породах кровли, а наиболее богатые руды приурочены к местам разветвления и сопряжения жил различного простирания и падения.

Глубина распространения промышленного оруденения данного типа меняется от 100 м (граниты) до 600 м (породы надкупольной зоны интрузива). В гранитах мощность жил и содержаний олова в рудах заметно уменьшаются. Разработка месторождений осуществляется, как правило, открытым способом.

Минеральный состав руд довольно прост и характеризуется резким преобладанием кварца (до 95 %) при практическом отсутствии турмалина. Содержание олова в рудах достигает 0,8, трехоксида вольфрама 1 %; в виде примеси присутствуют тантал, ниобий и висмут, что повышает практическую ценность руд. Текстура руд

Промышленные типы оловянных месторождений

| Оловянная форма-ция | Геолого-тектоническое положение | Характер магматизма | Промышленный тип и подтип | Рудовмещающие структуры | Морфологические особенности рудных тел | Особенности руд | | | Способ разработки месторождений | Масштабы месторождений | Характерные месторождения и рудные районы | | | | | | | | | |
|----------------------|---|--|---------------------------|---|---|--|--|--|---------------------------------|--|---|------------|---|---|---|--|--|----------|-----------------------|--|
| | | | | | | Текстуры | Минеральный состав | Качество и технологические свойства | | | | | | | | | | | | |
| Кварц-касситеритовая | Антиклинальные структуры ранней консолидации складчатых областей; внешние зоны срединных массивов; зоны тектоно-магматической активизации древних платформ и режек щитов; зоны краевых разломов. Основная часть оловянного оруденения пространственно тяготеет к гранитным интрузивам | Батолитоподобные, интрузивы, сложенные крупно- и среднезернистыми биотитовыми гранитами, сменяющиеся в эндоконтактных частях мелкозернистыми разностями последних и режек гранодиоритами Производные гранитоидов — малые тела и дайки гранитов, гранитпорфиоров и кварцевых порфиоров | Кварцевый | Трещинные системы: в эндоконтактных частях гранитных интрузивов; часто в надкупольных экзоконтактных зонах пород различного состава | Штокверковые залежи; минерализованные зоны, режек простые и сложные жилы Глубина распространения оруденения от 100 (в гранитах) до 600 м (в надкупольной зоне) | Массивные, вкрапленные, режек брекчиевидные с крупными и средними кристаллами и агрегатами касситерита | Кварц, мусковит, топаз, альбит, флюорит, касситерит, вольфрамит, арсенипирит, лёллингит, сульфиды железа, свинца, цинка; повышенная примесь тантала и ниобия | Содержание в рудах олова 0,3—0,8; WO ₃ до 1,0%. Извлечение из руд в концентрат олова 80—85, WO ₃ — 75—80% | Открытый, режек подземный | Мелкие, средние, крупные, режек весьма крупные | Первоначальное и Иультиг (СССР), Эренфридерсдорф (ГДР), Аббаретц и Монтебелё (Франция), Панашкейра (Португалия), Барнт Хилл (Канада), Пиньок и Лабу (Таиланд) | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Грейзенный | Зоны трещиноватости: в купольных частях гранитных массивов и пологих контактах; во вмещающих их кристаллических сланцах и гнейсах | Минерализованные зоны; штокверковые залежи; сложные трубообразные тела Глубина распространения оруденения 30—100 м | Массивные, вкрапленные со средними кристаллами и агрегатами касситерита | Кварц, мусковит, альбит, флюорит, касситерит, вольфрамит, арсенипирит, топаз, висмутин, минералы редких металлов | Содержание в рудах олова 0,3—0,5% Извлечение олова из руд в концентрат 75—80% | Открытый | Мелкие, режек средние | Одинокое и Экуское (СССР), Циновец и Альтенберг (ГДР), Интрузив Сен-Ренан (Франция), Клинг Хэд (Великобритания), Айриш Крик (США), Токири (Малайзия) |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Оловорудная форма-ция | Геолого-тектоническое положение | Характер магматизма | Промышленный тип и подтип | Рудовмещающие структуры | Морфологические особенности рудных тел | Особенности руд | | | Способ разработки месторождений | Масштабы месторождений | Характерные месторождения и рудные районы |
|--------------------------|---|--|---------------------------|---|--|--|---|--|---------------------------------|--|--|
| | | | | | | Текстуры | Минеральный состав | Качество и технологические свойства | | | |
| Силикатно-касситеритовая | Краевые глубинные разломы; неясно выраженные зоны повышенной трещиноватости и позднего синклиналильные наложенные приразломные впадины, секущие общее направление консолидированных ранее складчатых систем; реже краевые зоны вулканогенных поясов | Небольшие многофазные интрузивы сложного состава (от диоритов до лейкократовых гранитов) и дайки (фельзиты, гранит-порфиры, диабазы и микродиориты), образующие так называемые поперечные ряды | Турмалиновый | Трещинные системы: в зонах дробления пород различного литологического состава; в местах сопряжения зон повышенной трещиноватости разных направлений; в поверхностях структурного несогласия; на границе пород различного литологического состава; в узлах пересечения нарушений; в эндо- и экзо- контактовых частях и надкупольных зонах интрузивов | Минерализованные зоны; жилы; реже штокверковые залежи. Глубина распространения оруденения достигает сотен метров | Вкрапленные, полосчатые, брекчиевые; касситерит среднезернистый | Турмалин, кварц, пирит, касситерит, пирротин, халькопирит, хлорит, галенит, сфалерит, арсенопирит, вольфрамит, аксинит, флюорит, мусковит, станнин, антимонит | Содержание (в %) в рудах олова 0,4—3,0; WO ₃ 0,7; свинца 0,5; цинка 0,6; меди 0,4 Извлечение из руд в концентрат олова 70—75, WO ₃ 60—65% | Подземный | Мелкие, средние, крупные, весьма крупные | Илинтас, Фестивальное и Трудовое (СССР), Долкоате (Великобритания), Пети-Париж (Франция), Тайпинг (Малайзия), Ларамкота, Авиайа и Тотораль (Боливия) |
| | | | | | | | | | | | |
| Сульфидно-касситеритовая | Пограничные мобильные зоны складчатых областей; фланги поперечных наложенных структур, причленяющихся к вулканогенным поясам; купольные структуры и их обрамление внутри вулканогенных поясов | Вулкано-плутонические комплексы сложного состава: от базальтов-андезитов до липаритов | Сульфидный | Сложные трещинные системы над зонами крупных тектонических разломов в породах вулканогенного комплекса | Минерализованные зоны, жилы, реже штокверки Глубина распространения оруденения от 50 до 1000 м | Вкрапленные, брекчиевые Касситерит тонко- и мелкозернистый, часто в сростках с сульфидами | Пирротин, кварц, сфалерит, касситерит, арсенопирит, галенит, станнин, кальцит, хлорит, антимонит, пирит | Содержание (в %) в рудах олова 0,2—0,6; свинца и цинка 10. Извлечение олова из руд в концентрат 40—60% | Подземный, реже открытый | Мелкие, средние, крупные | Шерловогорское и Дальнее (СССР), Шарье (Франция), Сулливан (Канада) |

| Оловорудная форма-ция | Геолого-тектоническое положение | Характер магматизма | Промышленный тип и подтип | Рудовмещающие структуры | Морфологические особенности рудных тел | Особенности руд | | | Способ разработки месторождений | Масштабы месторождений | Характерные месторождения и рудные районы |
|--------------------------|--|--|--|--|---|---|--|--|---------------------------------|---|---|
| | | | | | | Текстуры | Минеральный состав | Качество и технологические свойства | | | |
| Сульфидно-касситеритовая | Зоны тектономагматической активизации; вулканические кальдеры и их периферические зоны | Субвулканические тела пород среднего состава (дациты, кварцевые порфиры) | Сульфидный Сульфидно-сульфосольный (порфировый) | Системы трещин, радиально ориентированных по отношению к периферии вулканогенных полей | Минерализованные зоны, жилы, реже штокверки Глубина распространения оруденения от 50 до 1000 м | Вкрапленные, брекчиевые, прожилковые; размер кристаллов касситерита от 0,01—0,1 мм в сростках с сульфидами, турмалином и хлоритом | Пирит, сфалерит, касситерит, станнин, пирротин, кварц, минералы серебра: пираргирит, андорит, тетраэдрит | Содержание в рудах олова 0,2—2,0%; иногда серебра — до 300 г/т. Извлечение олова из руд в концентрат 35—50% | Подземный, реже открытый | Мелкие, средние, крупные, реже весьма крупные | Потоси, Сан-Хосе-де-Оруро (Боливия) |
| | | | | | | | | | | | |

Примечание. Шрифтом выделены главные минералы.

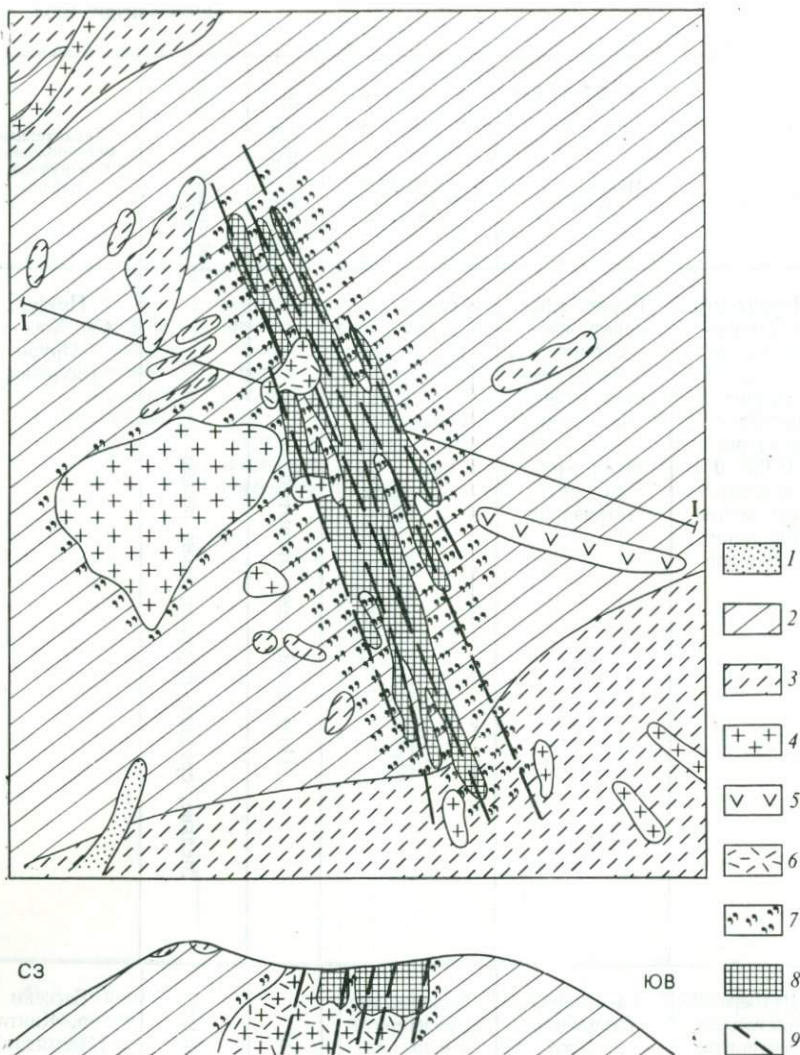


Рис. 1. Схема геологического строения штокверкового месторождения кварцевого типа Тигриное.

1 — аллювий; 2 — алевролиты; 3 — переслаивающиеся песчаники и глинистые сланцы с просями гравийных конгломератов; 4 — гранит-порфиры; 5 — порфириды; 6 — грейзенизация; 7 — ороговикование; 8 — зона прожилкового олово-вольфрамового оруденения; 9 — направление трещиноватости

обычно массивная, вкрапленная, реже брекчиевидная с крупными и средними кристаллами касситерита. Извлечение олова в концентрат составляет 80—85, трехокси вольфрама 75—80 %.

Месторождения кварцевого типа большей частью мелкие и средние. Крупные и весьма крупные запасы олова установлены лишь в отдельных штокверковых месторождениях, роль которых

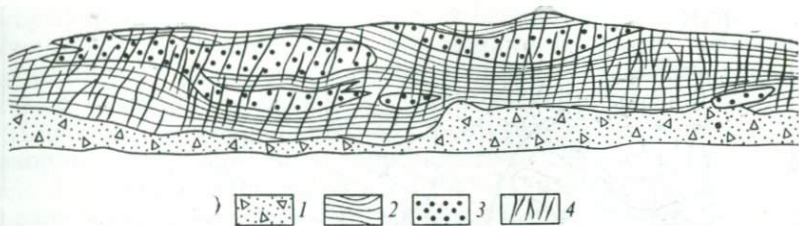


Рис. 2. Геологический разрез штокверкового месторождения кварцевого типа Первоначальное. По Ю. А. Маркину, А. Г. Процкому и др.

1 — свалы обломочного материала; 2 — глинистые, алевроито-глинистые сланцы и алевроиты; 3 — песчаники; 4 — рудные прожилки

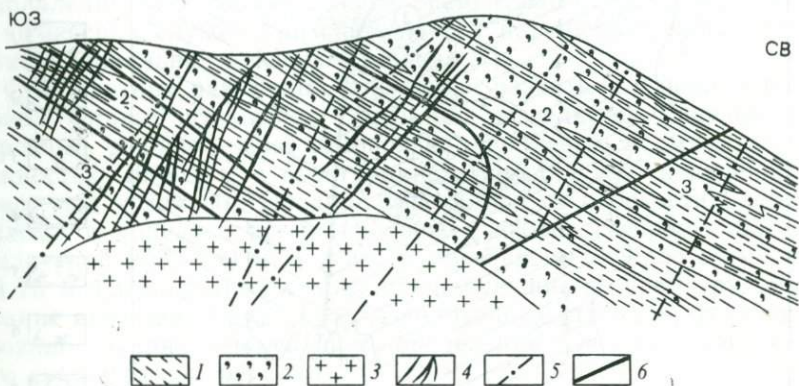


Рис. 3. Геологический разрез жильного месторождения кварцевого типа Иультин.

1 — слюдяные сланцы; 2 — кварцевые и кварц-сланцевые роговики; 3 — граниты; 4 — секущие жилы; 5 — сбросы и сбросо-сдвиги; 6 — границы зон олово-вольфрамового оруденения (1), вольфрамового оруденения (2), безрудного кварца (3)

в оловодобыче ограничена в настоящее время сравнительно невысоким содержанием в рудах олова. Однако большие запасы металла штокверковых месторождений представляют собой крупный резерв для значительного увеличения объемов добычи олова в ближайшее время.

Первоначальный штокверк — одно из наиболее изученных месторождений олова Пырकाкайского рудного узла Куйвивеем-Пыр-какайского района, расположенного в пределах зоны дугообразного Паляваам-Янранайского глубинного разлома (рис. 4). В геологическом строении района принимают участие терригенные отложения (глинистые и алевроито-глинистые сланцы, реже алевроиты и песчаники) верхнего триаса, которые на северо-западе сменяются флишоидной толщей позднеюрского — раннемелового возраста. Интрузивный магматизм представлен двумя комплексами: раннемеловых гранитов и позднемеловых малых интрузивных тел.

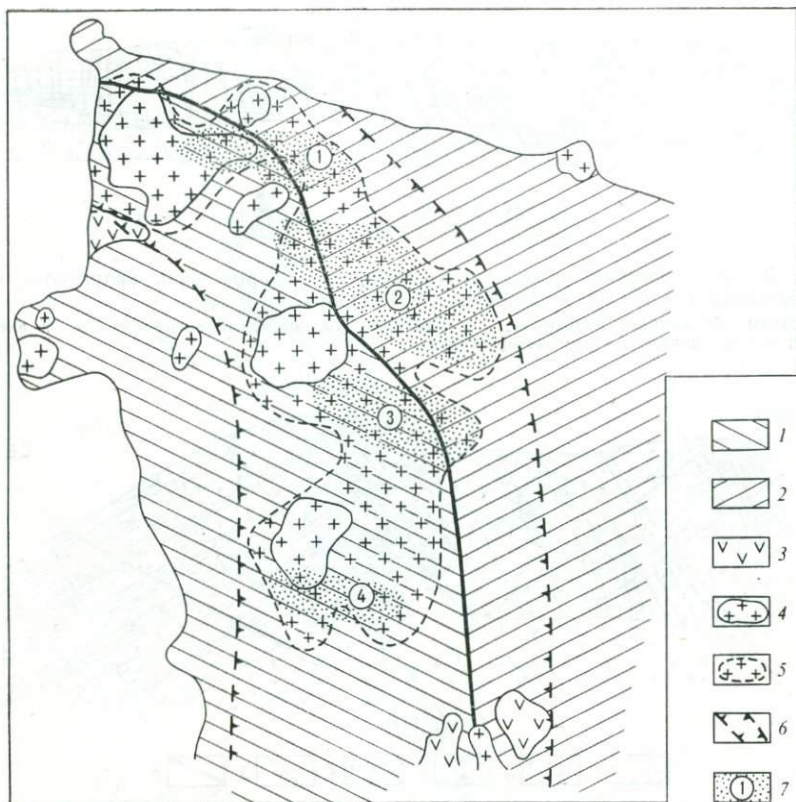


Рис. 4. Схема геологического строения Куйвиеем-Пыркакайского рудного района (составлена по материалам Ю. А. Маркина, 1980 г.).

1—2 — структурно-фациальные зоны (1 — Нижне-Раучанская, 2 — Паляваамская); 3 — эффузивные образования; 4 — выходы гранитоидов на дневную поверхность; 5 — предполагаемый Восточно-Чаунский батолит, выделенный по геофизическим данным; 6 — границы зоны Паляваам-Янранайского глубинного разлома; 7 — оловорудные узлы: Куйвиеемский (1), Гыргычанский (2), Пыркакайский (3), Пытлянский (4)

К раннемеловому комплексу относят Восточно-Чаунский гранитный батолит, выделенный на глубине первых сотен метров по результатам анализа геологических данных и интерпретации геофизических материалов. Известные локальные гранитные интрузивы (Янранайский, Пыркакайваамский, Северный и др.), к которым приурочена преобладающая часть оловоносных штокверков, являются выступами кровли этого массива. Предполагается, что батолит формировался в одну магматическую фазу, а разнообразие петрографического состава слагающих его пород обусловлено процессами дифференциации и частичной избирательной постмагматической перекристаллизации.

Позднемеловой комплекс малых интрузивов образует сложно построенную цепочку магматических образований в зоне глубинного разлома. Малые интрузивы обычно представлены дайками

гампрофиров, диоритовых и андезит-базальтовых порфиритов, а также кварцевыми порфирами. На самостоятельность позднемеловых интрузивов указывают наличие в дайках ксенолитов гранитов, а также их петрохимические и геохимические особенности.

Площадь Первоначального месторождения приурочена к антиклинорию северо-западного простирания с размахом крыльев около 3 км и их падением от 15 до 40°. Тектонические нарушения выражены крупными разрывами и зонами интенсивной трещиноватости пород, играющими важную роль в пространственном размещении штокверковых залежей. Месторождение объединяет три штокверка — Первоначальный, Крутой и Центральный.

Штокверк Первоначальный приурочен к северо-восточному крылу антиклинальной структуры и вытянут в меридиональном направлении (рис. 5). Основными элементами структурного каркаса штокверка служат три системы зон нарушений: субширотная, субмеридиональная и северо-западная [7].

Субширотные разрывные нарушения развиты в основном на северном фланге штокверка. Среди них выделяется Главный субширотный разлом — зона интенсивно дробленых и смятых пород мощностью 10—12 м с простиранием порядка 285° и падением к северу под углом 60°. Предполагается, что по плоскости Главного разлома в дорудное время произошел взброс северного блока с амплитудой 200—250 м, а в пострудное время — сброс с амплитудой 75 м. Субширотные разрывные нарушения во время рудообразования выполняли роль рудоэкранирующих структур, что способствовало локализации основного оруденения в лежащем боку Главного субширотного разлома.

Группа разрывных нарушений северо-западного направления ходит составной частью в так называемую Оленьинскую зону разломов регионального характера на северо-восточном фланге штокверка. К осевой части наиболее крупного северо-западного разлома (простирание 320°) приурочена мощная (5—8 м) безрудная кварцевая жила, которая сменяется по простиранию на северо-западе кварц-сульфидной жиллой с редкой вкрапленностью касситерита и затем разветвляется на ряд мелких жил. На северном продолжении разлом пересекается со сбросом Главным субширотным нарушением.

Субмеридиональные разрывные нарушения проявлялись в виде интенсивной трещиноватости вмещающих пород, отражающей на поверхности разломы фундамента. Субмеридиональная система нарушений объединяет три минерализованные зоны: Западную, Центральную и Восточную, отстоящие друг от друга на 50—70 м. Нарушения субмеридионального простирания служат основными вмещающими структурами. Рудные прожилки штокверка, выходящие субмеридиональную систему трещин, часто меняют мощность, разветвляются и выклиниваются. Общее их простирание 5°, падение в западно-северо-западном направлении под углом 0—80°. Плотность рудных прожилков в среднем составляет не менее 5 см на 1 м. В центральной части штокверка расположен

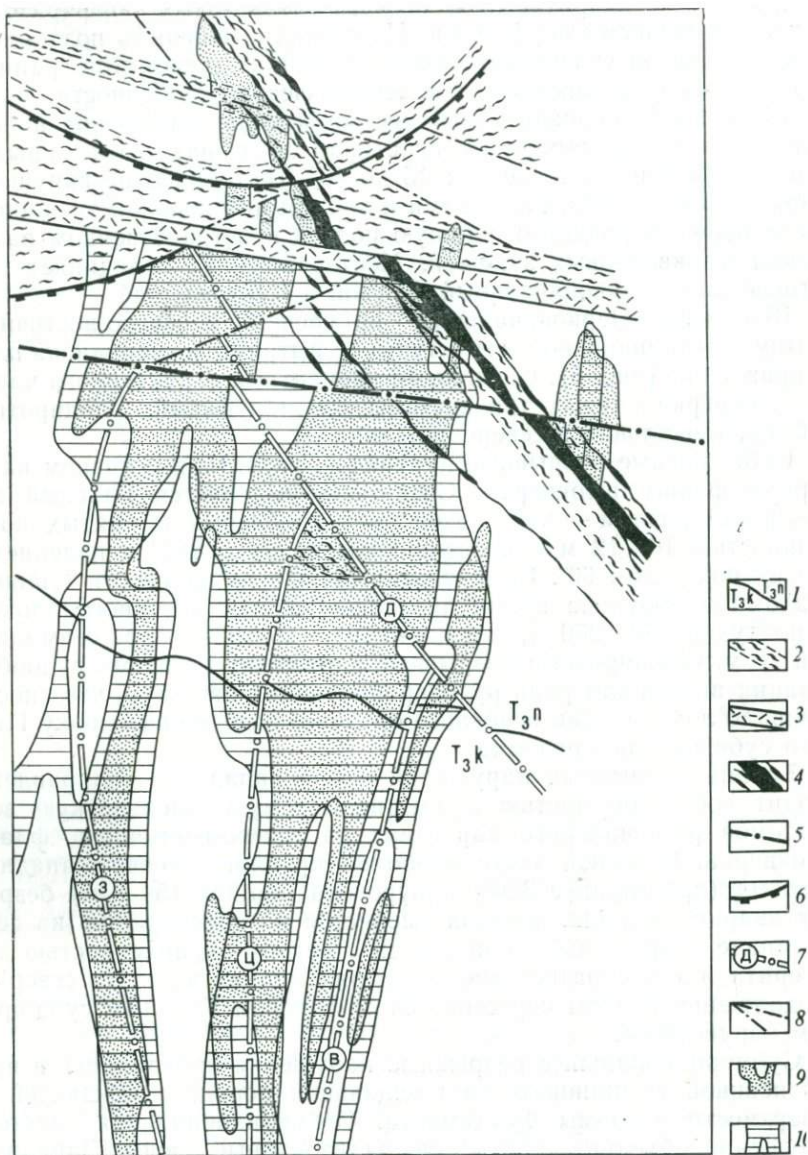


Рис. 5. Схема геологического строения Первоначального штокверка.
Л. Н. Епифанову и Л. П. Цветкову, 1977 г.

1 — граница терригенных отложений норийского и карнийского ярусов верхнего триас; 2 — блоки интенсивно смятых пород; 3 — Главный субширотный разлом; 4 — минерализованные разрывные нарушения Оленьинской зоны разломов; 5 — Первый субширотный разлом; 6 — разрывные структуры типа надвигов (зубцы направлены в сторону подъема бл.); 7 — минерализованные разломы: Диагональный (Д), Западный (З), Центральный (Ц), точный (В); 8 — оперяющие разрывные нарушения; 9 — штокверк по изолинии борта содержания олова; 10 — поля распространения рудных прожилков средних плотностей.

диагональный разлом, ограничивающий систему нарушений субмеридионального направления.

По периферии штокверковых зон сравнительно широко развиты варц-касситеритовые жилы с вкрапленностью сульфидов, не выержанные по простиранию (20—500 м) и мощности (0,3—3,5 м), частыми раздувами и пережимами. В настоящее время промышленное значение имеет только штокверковое оруденение.

Минимальный состав руд во всех штокверках Первоначального месторождения сходный: в значительном количестве наблюдаются варц, арсенопирит, пирит и пирротин, в меньшей мере — мусковит, асситерит, сфалерит, флюорит, топаз, хлорит и родохрозит, а также различные примеси. Касситерит — основной промышленный минерал, размеры его кристаллов меняются от первых миллиметров до первых сантиметров.

Процесс минералообразования на Первоначальном месторождении различными исследователями трактуется неодинаково. Так, например, А. В. Зильберминц считает, что отложение касситерита происходило в течение довольно короткого промежутка времени — только в «мусковитовую» стадию процесса, а С. Ф. Лугов полагает, что касситерит выделялся в течение всего периода формирования месторождения. В схеме минералообразования, предложенной И. М. Бибиным, Ю. А. Маркиным и Ю. А. Соколовским, выделены девять стадий минерализации: турмалиновая, турмалин-кварцевая, варц-касситеритовая, топаз-мусковит-касситеритовая, кварцевая, мусковит-слюдистая с касситеритом, сульфидная с касситеритом (?), кварц-арсенопиритовая с касситеритом (?) и карбонатная. И. П. Цветков и Л. Н. Епифанов по парагенетическим ассоциациям выделили восемь стадий минерализации (дорудного кварца, метаматическую, прорудного кварца, касситерит-кварцевую, сульфидную, сульфидно-карбонатную, альбитовую и гребенчатого кварца), при этом отмечено отсутствие в штокверках вертикальной минералогической зональности и наличие горизонтальной, выражающейся в смене минеральных ассоциаций по простиранию.

Месторождение Маучи находится на севере Бирмы. В геологическом строении месторождения участвуют сильно метаморфизованные породы (кварциты, аргиллиты и песчаники), прорванные интрузивом биотитовых гранитов позднеюрского возраста. Оруденение локализуется преимущественно в трещинных системах интрузива, реже во вмещающих кварцитах. В гранитах отмечаются повышенные относительно кларковых содержания олова и вольфрама.

На площади месторождения выявлено несколько десятков жил олово-вольфрамовой минерализацией, выполняющих трещинные системы субмеридионального, реже северо-западного и северо-восточного направлений. Среди них преобладают трещины отрыва. Мощность жил меняется в широких пределах: от долей метра до 5 м, в среднем 1 м; длина жил обычно 200—300 м, иногда 500 м и более. Жилы распространены в надкупольной и эндоконтактной астях сурмалинизированных гранитов, в перекрывающих кварци-

тах, реже в известняках; наиболее перспективные и выдержанные жильные тела встречены в гранитах. На глубину оруденение прослежено на 150—200 м, единичные жилы отработаны до 300 м от поверхности.

В составе руд месторождения Маучи резко преобладает кварц (до 95 %), с которым постоянно ассоциируют мусковит, ортоклаз, флюорит, касситерит, вольфрамит, арсенопирит, шеелит, берилл, галенит. Распределение касситерита и вольфрамита неравномерное, часто гнездовое; размеры кристаллов обычно средние, что характерно для всех месторождений описываемого типа. С глубиной содержание олова в жилах увеличивается.

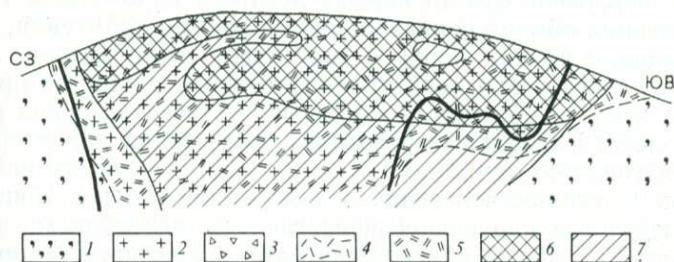
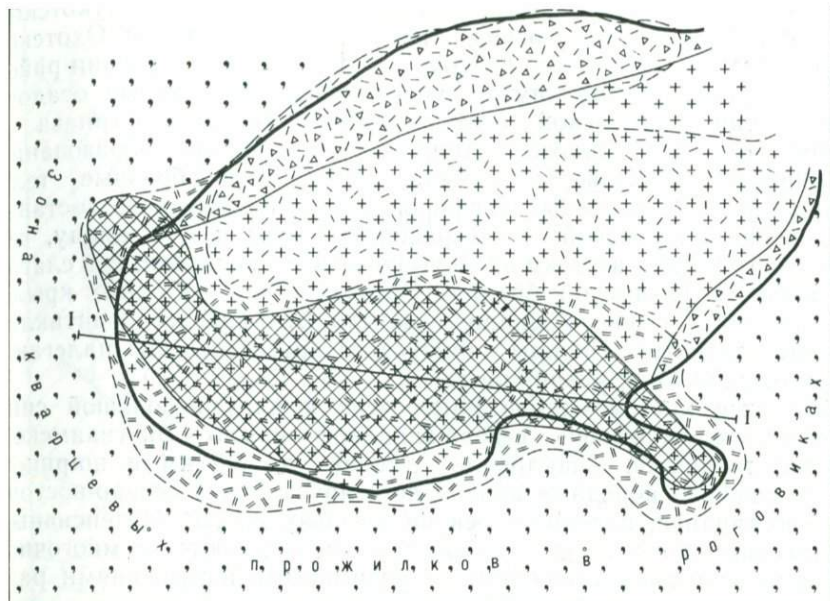
Грейзеновый тип

Грейзеновый тип оруденения не относится исключительно к кварц-касситеритовой формации; при соответствующей вмещающей среде и благоприятной геолого-структурной обстановке оруденение данного типа может быть принадлежностью силикатно-касситеритовой формации. Грейзеновые месторождения часто имеют генетическую и пространственную связь с редкометальными пегматитами, оловоносными скарнами, турмалин-хлоритовыми метасоматитами и обычно тесно ассоциируют с лейкократовыми и аляскиотовыми гранитами, внедрившимися в терригенные флишоидные толщи пород.

Месторождения грейзенового и кварцевого типов пространственно тесно связаны и почти всегда наблюдаются в одной геолого-структурной ситуации. Однако по качеству руд, морфологии залежей, условиям их образования и масштабам промышленного оруденения грейзеновый тип месторождений значительно отличается от кварцевого.

Оруденение грейзенового типа тяготеет к купольным частям гранитных выступов и их пологим контактам под экраном перекрывающих пород. В ряде случаев оруденение локализуется в дайках-апофизах скрытого на глубине рудоносного гранитного интрузива, а также в надкупольных сланцах и гнейсах.

Грейзеновые оловоносные залежи представлены, как правило, минерализованными зонами, штокверками и трубообразными телами весьма сложной формы. При этом в зонах минерализации отмечается приуроченность оруденения к изолированным трещинам или их системам. Штокверки с грейзеновым оруденением характеризуются наличием сложных систем мелких различно ориентированных трещин. Реже встречаются грейзены жильного типа, тяготеющие к обособленным крутопадающим трещинам значительной протяженности. Грейзеновые залежи имеют гнездообразную и пятнистую форму и сравнительно ограниченную глубину распространения промышленного оруденения (30—100 м), особенно в случае их размещения на пологом склоне поверхности выступа гранитоидов (рис. 6). Разрабатываются месторождения данного типа в основном открытым способом.



ис. 6. Схема геологического строения месторождения Одинокое (составлена по материалам А. П. Богомолова и Г. В. Рыбоченко, 1972 г.).

— верхнеюрские ороговикованные песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов; — верхнемеловые слабоизмененные гранит-порфиры; 3 — взрывные брекчии с цементом гранит-порфиров; 4 — каолинизированные слюдисто-кварцевые метасоматиты; 5 — кварц-то-азовые грейзены; руды олова: 6 — богатые и средние, 7 — бедные.

Минеральный состав руд месторождений грейзенового типа разнообразен и во многом зависит от особенностей состава как вмещающих пород, так и рудных эманаций. Текстуры руд массивные и вкрапленные со средними размерами кристаллов касситерита. Содержание олова изменчиво — 0,3—0,5 %, повышенные скопления триокиси вольфрама встречаются редко. Обогащенность руд грейзенового типа несколько ниже, чем кварцевого, извлечение олова в концентрат составляет 75—80 %. По масштабам обрушения мелкое, реже среднее.

Экугское месторождение находится в пределах Чукотской складчатой системы мезозойд близ зоны сочленения с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом. В геологическом строении района месторождения принимают участие дислоцированные осадочные толщи амгуэмской свиты нижнего—среднего триаса и карнийского яруса верхнего триаса, вулканогенные образования туманинской свиты верхнего мела, мелкие штокообразные тела гранодиоритов, кварцевых порфиров и дайки различного состава. Отложения амгуэмской свиты распространены к юго-западу, северо-западу и юго-востоку от Экугского месторождения, где слагают ядро Экугваамской брахиантиклинали, юго-восточное крыло Иультинского и северо-западное крыло Вельмайского антиклинальных поднятий. Породы карнийского яруса согласно налегают на отложения амгуэмской свиты.

Экугское месторождение приурочено к ядру небольшой синклинали, осложняющей северо-западное крыло Экугваамской брахиантиклинали. Синклиналь длиной до 3,5 км и шириной 1,5 км сложена породами карнийского яруса, имеет северо-восточное простирание, падение слоев на крыльях до 30°. Интенсивные пликвативные дислокации осадочных толщ сочетаются с многочисленными взаимопересекающимися разрывными нарушениями различного направления (рис. 7).

Региональные нарушения северо-восточного, северо-западного и субмеридионального направлений имеют прямолинейную в плане форму и протяженность до первых десятков километров. Разрывные нарушения обычно сопровождаются зонами дробления, амплитуда смещения по ним нередко составляет сотни метров. Многие разломы являются долгоживущими, что подтверждается присутствием в их зонах дробления обломков магматических пород различного возраста. Радиальные разрывные нарушения характеризуются протяженностью от 0,3 до 1,5 км и имеют частую изменчивость элементов залегания, что типично для трещин отрыва. Концентрические разрывные нарушения представлены небольшими по протяженности (0,1—1 км) сбросо-надвигами с амплитудой смещения пород до первых десятков метров. Концентрические разрывы обычно пересекают радиальные нарушения под углом 80—90°.

Магматические образования Экугского месторождения представлены дайками и мелкими штоками. По минеральному составу и времени формирования выделены три группы изверженных пород: 1) диоритовые порфириты и лампрофиры, 2) кварцевые порфиры, 3) фельзиты. Дайки диоритовых порфиритов и лампрофиров большей частью размещаются по периферии месторождения. Наиболее крупная из них — лампрофировая дайка Большая Западная — имеет дугообразную форму и фактически служит западной и юго-западной границей рудного поля. Дайки лампрофиров, как правило, выделяют кольцевую систему разрывов и подают под углом 40—45° к центру месторождения. Небольшие по размерам (0,1—0,8 км²) штоки кварцевых порфиров наблюдаются в местах пересечения радиальных и кольцевых разрывов. Дайки аналогич-

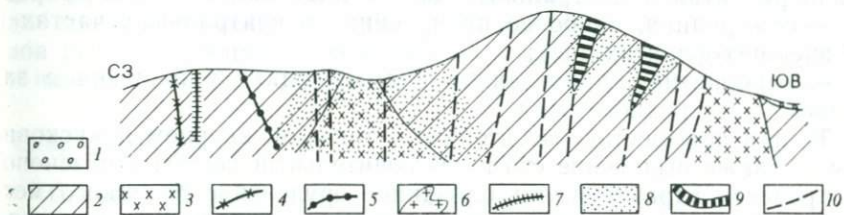
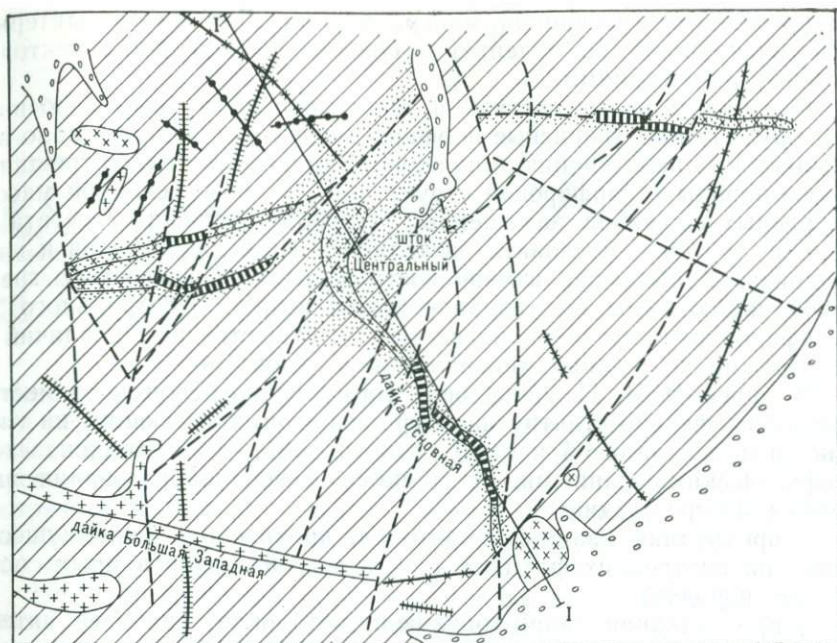


Рис. 7. Схема геологического строения Экугского месторождения (составлена по материалам М. Н. Лепешова, 1975 г.).

1 — современные отложения; 2 — песчано-сланцевая толща; 3 — кварцевые порфиры; дайки; 4 — фельзитов, 5 — диоритовых порфиритов, 6 — лампрофиров; 7 — безрудные кварцевые жилы; 8 — зоны грейзенизации; 9 — рудные тела; 10 — тектонические нарушения

ного состава приурочены к радиальным системам нарушений, сходящимся в районе штока Центрального. Дайки фельзитов распространены ограниченно и отмечаются преимущественно ближе к периферии восточной части рудного поля, где выполняют концентрические и реже радиальные разрывные нарушения. Приуроченность всех магматических образований к единой концентрически-радиальной системе объединяет их разломы в единый комплекс, обусловленный становлением единого магматического очага.

Промышленное скопление оловянных руд наблюдается в четырех дайках интенсивно грейзенизированных кварцевых порфиров. Рудные тела представляют собой разрозненные крутопадающие (60—80°) плитообразные залежи небольшой (150—170 м) протяженности, значительной мощности с относительно равномерным

распределением оловянной минерализации. Для них характерны невыдержанность по падению и слабая осложненность тектоническими нарушениями.

По минеральному составу и текстурно-структурным особенностям рудоносные кварцевые порфиры весьма однородны и мало изменяются по простиранию и падению. Это плотные, слабо трещиноватые породы с порфировой структурой. На фоне основной массы кварцевых порфиров, замещенных микрозернистыми агрегатами кварца, топаза и мусковита, выделяются гнезда сульфидов и касситерита. Наибольшая изменчивость вещественного состава грейзенов наблюдается по направлению от штока Центрального к периферии рудного поля, по вертикали существенных различий в соотношениях основных минералов не установлено.

По мнению М. Н. Лепешова, формирование Экугского месторождения связано с интрузивом гранитоидов, залегающим на глубине под центральной частью рудного поля, что подтверждается геофизическими данными. В процессе минералообразования выделены четыре стадии:

— предрудная кварц-флюоритовая, проявленная преимущественно на внутренних флангах даек и в грейзенизированных осадочных породах;

— продуктивная кварц-топаз-редкометалльная, наиболее интенсивно развитая в центральных частях даек кварцевых порфиров;

— сульфидная, наиболее проявленная в центральных частях и на внешних флангах даек;

— карбонатная, проявленная в виде редких прожилков в западной части рудного поля.

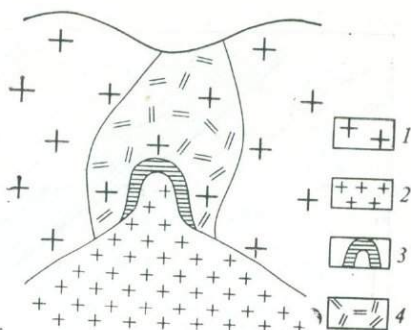
Тесная ассоциация касситерита с топазом, кварцем и мусковитом, а также выделение его в заключительный период грейзенового процесса характеризуют оловянное оруденение Экугского месторождения как оруденение грейзенового промышленного типа кварц-касситеритовой формации.

Месторождение Альтенберг — одно из многих грейзеновых месторождений Рудных гор. Рудногорские оловоносные граниты представляют собой продукты длительной магматической дифференциации при ограниченной роли процессов ассимиляции и гибридации в период становления интрузивов. Месторождение Альтенберг приурочено к апикальной части так называемого Альтенбергского гранитного штока, прорывающего теплицкие кварцевые порфиры и гранит-порфиры. На глубине 200 м от поверхности в пределах штока находится другой (внутренний) купол гранитов, отделенный от первого приконтактовой зоной штокшейдера (рис. 8). Внутренняя часть штока безрудна, во внешней локализуется оловянное оруденение грейзенового типа.

Рудное тело месторождения представлено крутопадающим штокверком эллипсовидного очертания в плане размером 350×250 м, глубина оруденения прослеживается до 230—260 м. На месторождении наблюдается сочетание жильного и прожилково-вкрапленного оруденения. Грейзеновая минерализация с промыш-

Рис. 8. Схематический разрез месторождения Альтенберг (составлен по материалам Д. В. Рундквиста, 1970 г.).

1 — «внешний» гранит; 2 — «внутренний» гранит; 3 — штокшейдер (пегматитоподобное тело); 4 — рудоносный грейзен



ленным содержанием олова формировалась на глубинах до 1000 м под экраном перекрывающих пород, о чем свидетельствует вулканический характер пород штока. В составе руд месторождения преобладают кварц (около 50%), топаз и светлые слюды, реже встречаются флюорит и сидерит. Кроме основного рудного минерала касситерита, отмечены вольфрамит, молибденит, магнетит, гематит, арсенопирит, халькопирит и висмутин.

На месторождении установлена определенная рудная зональность. В плане сульфидная минерализация тяготеет к периферии штокверка, во внутренних частях наблюдается олово-висмут-молибден-вольфрамовое оруденение. С глубиной количество сульфидов резко сокращается, содержание олова увеличивается от 0,2% у поверхности до 1% вблизи внутренней части штока гранитов.

Скарновый тип

Скарновый тип месторождений наиболее характерен для средних массивов, щитов и платформ, особенно для зон их активизации, где обычно формируются типы оруденения кварц-касситеритовой формации. Скарновый тип оруденения силикатно-касситеритовой формации встречается реже и приурочен к геосинклинально-складчатым областям. Оловянная минерализация, как правило, наложена на скарны, образовавшиеся в дорудный этап на контакте карбонатных пород с интрузивами гранитоидов, иногда с песчаниками, сланцами и эффузивами, содержащими повышенное количество известковистого материала (рис. 9).

Скарнирование пород большей частью связано с ранними фазами образования гранитоидных интрузивов и значительно опережает во времени процесс рудообразования. Оловоносные магматические комплексы представлены крупными батолитоподобными интрузивами биотитовых гранитов, часто с несколько повышенной основностью, сменяющиеся в эндогенных частях лейкократовыми и аляскитовыми гранитами. Граниты местами сопровождаются пегматитообразными телами, расположенными вблизи интрузивов и залегающими как в алюмосиликатных, так и в известковистых породах.

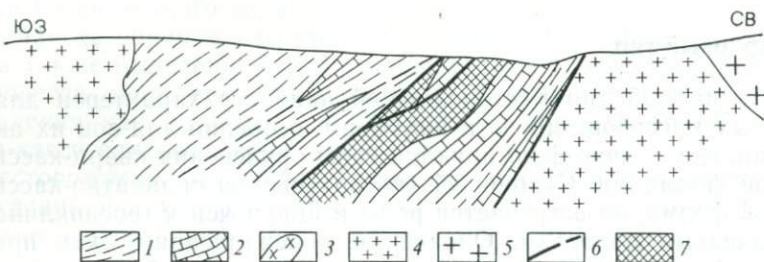
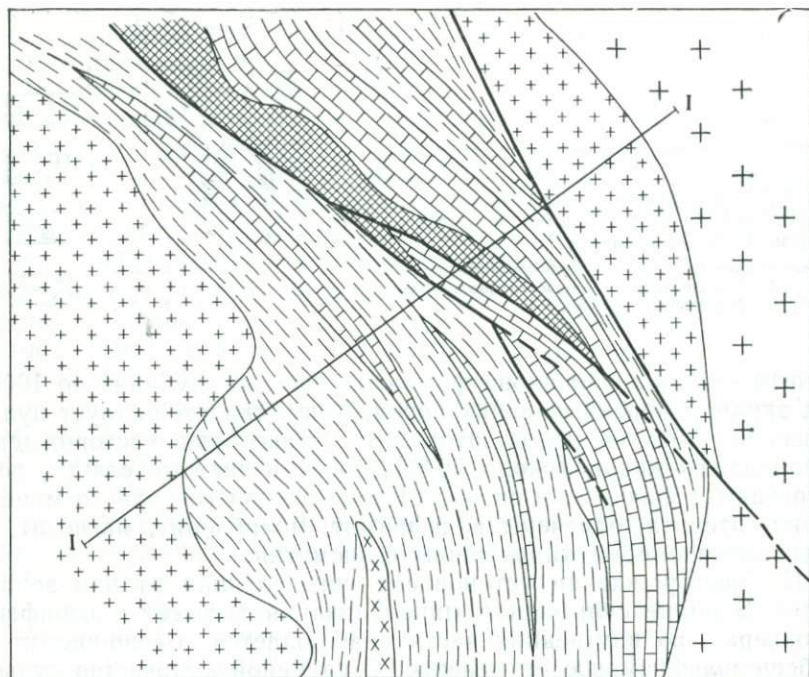


Рис. 9. Схема геолого-структурного положения рудного тела № 6 месторождения скарнового типа Большой Каньон (составлена по материалам Я. П. Мисанса, 1954 г.).

1 — нижнепермские ороговикованные глинистые и песчано-глинистые сланцы; 2 — нижнепермские мраморизованные известняки; 3 — дайки аплитовидных гранитов и аплитов; 4 — мелкозернистые боититовые граниты; 5 — среднезернистые порфиroidные биотитовые граниты; 6 — тектонические нарушения; 7 — скарны с проявлениями оловянной минерализации

Своеобразие физико-химических условий формирования месторождений обусловило сложность вещественного состава руд, включающих как собственно скарновые, так и наложенные минеральные ассоциации. Главными и широко распространенными минералами оловоносных скарнов являются гранаты, пироксены,

амфиболы, магнетит, карбонаты, кварц, касситерит, шеелит, вольфрамит, сульфиды железа, меди, свинца и цинка. Независимо от формационной принадлежности в рудах постоянно присутствуют в повышенных количествах фтор- и борсодержащие минералы. Руды тонко- и мелкокрапленные, касситерит часто находится в сростании с сульфидами. Содержание олова в рудных залежах отличается большой неравномерностью и в среднем составляет 0,3—0,6 %. Извлекается оно с хорошими показателями металлургическим способом.

Морфология рудных тел и минеральный состав руд месторождений скарнового типа во многом зависят от состава вмещающих пород. В материнских гранитах и их апофизах наблюдается гнездовая вкрапленность касситерита и вольфрамита, реже молибденита, из нерудных минералов установлены кварц, полевой шпат, топаз, флюорит и мусковит. Рудные тела, удаленные от интрузивов материнских гранитов, представлены небольшими жилами, неправильными метасоматическими залежами и зонами прожилково-вкрапленных руд с касситеритом, шеелитом, минералами редких металлов, фтора, бора, а также с повышенным содержанием сульфидов. Контакты рудных тел с вмещающими породами часто нечеткие. Глубина распространения оруденения от десятков до нескольких сотен метров (месторождения Кителя, Большой Каньон и др.). Месторождения разрабатываются открытым и подземным способами.

С оловоносными скарнами нередко связаны значительные скопления олова. В ряде оловоносных провинций мира (южная часть территории КНР, Малайзия, Индонезия и др.) этот тип месторождений занимает главенствующее положение, на его долю приходится около 5 % мировых запасов и более 1 % мировой добычи олова. В Советском Союзе пока нет разведанных месторождений скарнового типа с промышленными запасами олова. Однако в последние годы в Северном Приладожье уже вовлечено в разведку месторождение данного типа — Кителя, которое по масштабам оруденения и технологическим свойствам руд может быть поставлено в ряд промышленных. Выявлен также ряд проявлений рассматриваемого типа оруденения на территории Казахстана и Средней Азии.

Месторождение Кителя находится в пределах Приладожского оловорудного района (рис. 10), расположенного на юго-востоке крупной Восточно-Финляндской синклинали с многочисленными выступами архейского фундамента. В геологическом строении района месторождения принимают участие породы свит контиосари и питкьярантской, а также гнейсо-граниты и граниты рапакиви [41].

Свита контиосари в пределах рудного поля представлена переслаивающимися пачками кварц-биотитовых сланцев (гнейсо-сланцев) с гранатами и отдельными прослоями мелкозернистых песчаников. Породы изобилуют прожилками и линзовидными включениями кварца с рассеянной вкрапленностью сульфидов. Контакты

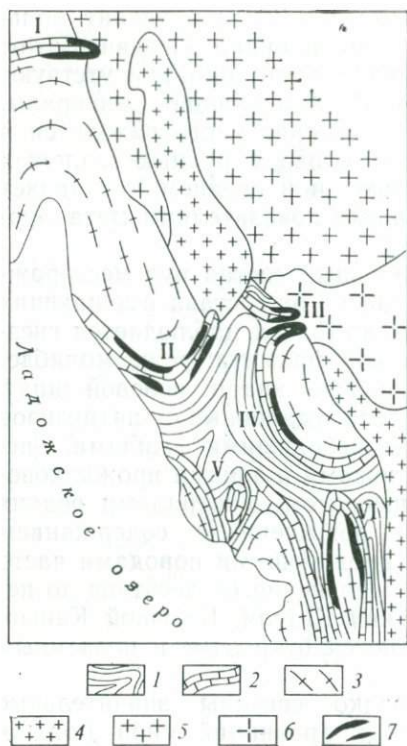


Рис. 10. Схема размещения оловоносных площадей на территории Северного Приладожья (составлена по материалам Северо-Западного ПГО).

1 — сланцы ладожской серии; 2 — карбонатные породы питкьярантской свиты; 3 — гнейсограниты; граниты рапакиви; 4 — лейкократовые мелкозернистые (первая фаза); 5 — биотитовые среднезернистые (вторая фаза), 6 — биотит-роговообманковые крупнозернистые (третья фаза); 7 — рудные залежи. Месторождения: I — Китея, II — Питкьяранта; рудопроявления: III — Хопунвара, IV — Люпко, V — Хепоселька, VI — Уксинское

свиты контиосари и питкьярантской свиты согласные и обычно сопровождаются зонами повышенной трещиноватости мощностью до 3 м, контакты с гранитами рапакиви — согласные и секущие. В зоне контакта сланцы ороговикованы и мигматизированы.

Питкьярантская свита наблюдается в центральной части рудного поля, на востоке прорывается многочисленными апофизами гранитов рапакиви. Образования свиты многообразны и представлены переслаивающимися амфиболами различного состава, кварцбиотитовыми, амфиболовыми и графитоносными сланцами, известняками, мраморами и разнообразными скарнами. Скарны служат основными рудовмещающими породами. По генетическому признаку среди них выделяются магнезиальные скарны магматического и постмагматического этапов, связанные с формированием гнейсогранитов, а также магнезиальные и известковые скарны, связанные с интрузивом гранитов рапакиви и несущие рудную минерализацию.

Интрузивные породы в пределах рудного поля представлены гнейсогранитами и гранитами рапакиви. Гнейсограниты характеризуются мелкозернистым сложением и гнейсовидной текстурой, среди них отмечаются плагиомикроклиновые и микроклин-плагиоклазовые разновидности. Граниты рапакиви развиты в восточной

части рудного поля; ими же сложены апофизы и слепые тела, согласно залегающие в породах свиты контиосари и питкьярантской свиты.

В истории формирования структуры рудного поля выделяют два этапа. На первом этапе, соответствующем периоду проявления ранне-среднепротерозойской карельской складчатости, возникла сложная линейно-купольная структура. На втором этапе образовался комплекс тектонических разрывных нарушений и магматических проявлений, связанных со становлением многофазного интрузива гранитов рапакиви. Оловянная минерализация тесно связана со второй и третьей фазами становления интрузивов этих гранитов.

Месторождение Кителя представляет собой часть крутопадающего (70—90°) крыла антиклинальной структуры (Койринойско-Питкьярантского купола), срезаемой на глубине 200—600 м интрузивом гранитов рапакиви. Формирование складчатой структуры рудного поля сопровождалось образованием пластовых и секущих трещин почти вертикального падения. Внедрение интрузива гранитов рапакиви способствовало формированию многочисленных разрывных нарушений субмеридионального и широтного направлений. Разломы широтного простирания, играющие важную роль в локализации оруденения, наблюдаются вдоль границ пород различного литологического состава, к ним тяготеют апофизы и слепые тела гранитов рапакиви. Как уже отмечалось, основными рудовмещающими породами служили скарны питкьярантской свиты, развитые локально вдоль тектонических нарушений и зон трещиноватости в непосредственном контакте с породами свиты контиосари или гранитами рапакиви. В настоящее время в пределах месторождения Кителя известны три минерализованные зоны: Южная, Северная и Промежуточная (рис. 11).

Зона Южная — это крутопадающая залежь оруденелых биметасоматических и контактово-инфильтрационных известковых апомагнезиальных скарнов и пачки карбонатных пород питкьярантской свиты. По простиранию зона прослежена на 1900 м, на глубину — более чем на 700 м, мощность ее варьирует от 4 до 30 м. В залежи выделено несколько рудных тел различной формы. По характеру минерализации различают сопутствующее и наложенное оруденение. Для сопутствующего (магнетитового) оруденения характерны крупные линзовидные или пластовые тела, а для наложенного (оловянного) — сложные жилообразные. Магнетит в скарнах слагает густовкрапленные, переходящие в массивные руды с порфиоровидной структурой. Оловянное оруденение наложено на магнетитовую минерализацию и отличается неравномерно вкрапленным, прожилково-вкрапленным, пятнистым, полосчатым и брекчиевидным сложением руд. Содержание олова в скарных рудах меняется в широких пределах, содержание железа достигает 20, цинка 0,4 и меди 0,1 %, местами присутствуют серебро, индий и кадмий.

Зона Северная приурочена к скарнированным карбонатным

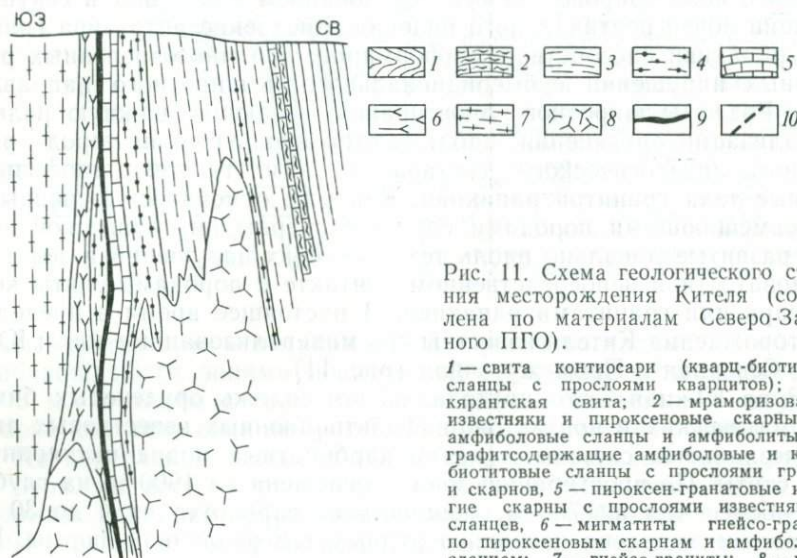
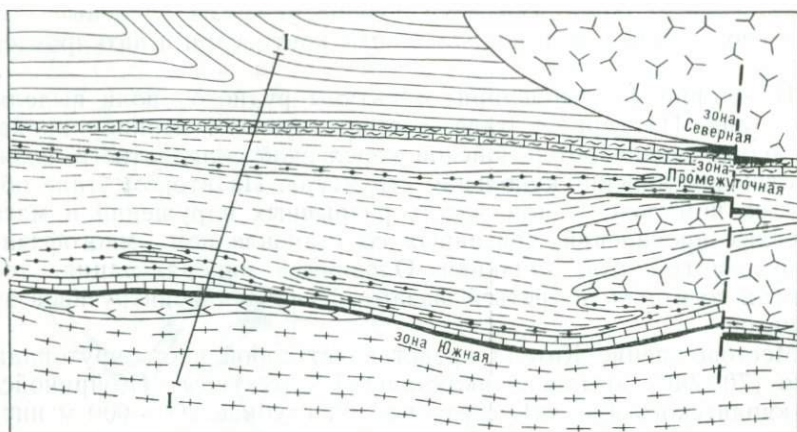


Рис. 11. Схема геологического строения месторождения Кителя (составлена по материалам Северо-Западного ПГО).

1 — свита контиосари (кварц-биотитовые сланцы с прослоями кварцитов); питкьярантская свита; 2 — мраморизованные известняки и пироксеновые скарны, 3 — амфиболовые сланцы и амфиболиты, 4 — графитосодержащие амфиболовые и кварц-биотитовые сланцы с прослоями графита и скарнов, 5 — пироксен-гранатовые и другие скарны с прослоями известняков и сланцев, 6 — мигматиты гнейсо-гранитов по пироксеновым скарнам и амфиболовым сланцам; 7 — гнейсо-граниты; 8 — граниты рапакиви; 9 — минерализованные зоны; 10 — тектонические нарушения

породам питкьярантской свиты на контакте с гранитами рапакиви. В зоне выделены три рудных тела, залегающих в хлоритизированных и серпентинизированных магнезиальных скарнах. Наиболее крупное Северное рудное тело расположено в висячем боку скарновой залежи вдоль контакта с гранитами рапакиви. Сложная форма рудного тела обусловлена морфологией поверхности вертикально падающего контакта интрузива. В рудах содержатся олово, цинк, свинец и железо. Глубина распространения оруденения ограничивается кровлей гранитов рапакиви, лежащей на глубине 110—115 м.

Зона Промежуточная пространственно совпадает с пачкой переслаивающихся графитсодержащих амфиболовых и кварц-биотитовых сланцев и пироксеновых скарнов. Рудные тела расположены в лежащем боку графитсодержащих сланцев на контакте с амфиболовыми сланцами, по падению прослеживаются на 135—150 м до кровли гранитов рапакиви.

В рудах месторождения Кителя установлены гранаты (26—46 %), пироксены (33—46 %), амфиболы (5—13 %), магнетит (4—22 %), в меньшей мере полевые шпаты (3—15 %), кварц (3 %), кальцит (3—5 %), а также халькопирит, сфалерит, касситерит, пирит. Положение обогащенных оловом участков контролируется небольшими флексурными изгибами рудовмещающих пород. В залежах рудные минералы образуют вкрапленность, в рудных телах — неправильную сеть прожилков, реже сплошные массивные руды. Касситерит обычно наложен на ранее возникшие скарны, олово входит и в состав силикатов. Общее количество рассеянного олова в минералах скарнов достигает 30 % от его массы в рудах месторождения.

При переработке скарновых руд месторождения Кителя прямым металлургическим способом (фьюмингованием) извлекается 85—95 % олова, а с учетом использования обычных технологических схем обогащения (гравитация, флотация и др.) и последующей переработки черновых концентратов олова на фьюминговой установке — порядка 70—75 %.

Месторождение Лаочан — одно из крупнейших оловянных месторождений рудного района Гэцзю в КНР. Структуру района определяет серия горстов и грабен со спокойными складчатыми дислокациями, отражающими глыбовые подвижки фундамента [4]. Осадочные триасовые толщи смяты в пологие куполообразные складки северо-восточного простирания и рассечены множеством параллельных разрывных нарушений. Наиболее крупный меридиональный разлом Гэцзюун проходит через центральную часть района. К востоку от разлома расположены основные оловянные месторождения (рис. 12).

Интрузивные породы района представлены гранитами, слагающими батолитоподобный массив. Вмещающие массив осадочные отложения сильно изменены, скарнированы и на отдельных участках интенсивно минерализованы. Месторождения и рудопроявления обрамляют гранитоидный батолит, наиболее крупные приурочены к гэцзюйским известнякам. Основные оловянные месторождения (Лаочан, Кафан, Суншущзяо и Малагэ) расположены в 7—15 км на юго-восток и восток от массива гранитов и приурочены к антиклинальной складке северо-восточного направления. В пределах антиклинали развиты близширотные нарушения, в местах пересечения их с трещинными структурами субмеридионального направления наблюдаются гранитные купола, к которым тяготеют месторождения.

Месторождение Лаочан расположено в северо-восточной части куполовидной складки, нарушенной многочисленными разломами,

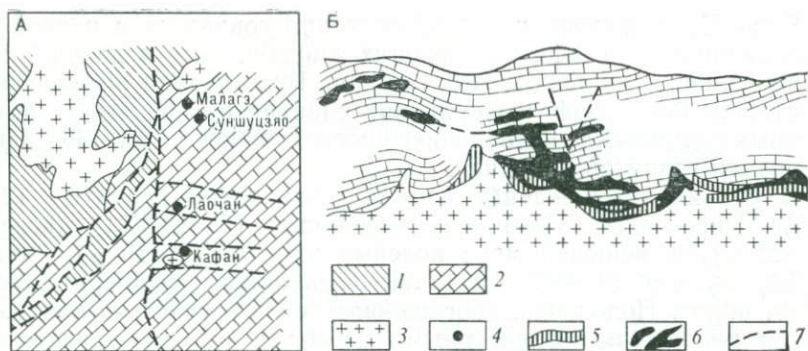


Рис. 12. Геолого-структурное положение (А) и разрез (Б) месторождения Лаочан (составлены по материалам М. П. Материкова, 1969 г.).

1 — угленосные отложения, песчаники и сланцы верхнего триаса; 2 — гаоцзюйские известняки среднего триаса; 3 — граниты; 4 — месторождения; 5 — скарны; 6 — рудные тела; 7 — тектонические нарушения

и характеризуется отсутствием выходов на поверхность интрузивов гранитов и скарнов, вскрытых на глубине. Оруденение контролируется системой сбросов, наиболее крупные рудные тела установлены на участках их пересечений. В основном здесь развиты сложные по форме метасоматические залежи, жилы, линзы и трубообразные тела, а также штокверки в благоприятных горизонтах мраморов. Наиболее устойчивое оруденение приурочено к скарнированным, интенсивно мраморизованным и окремнелым участкам известняков. Длина рудных тел по простиранию 150—300 м, глубина развития оруденения достигает 2000, мощность 30 м. Содержание олова в рудах до 1 %, цинка 0,1—1,0 %, меди 0,1—1,8 %, трехокси вольфрама 0,02 %; в небольшом количестве в скарнах присутствует молибден.

Грейзеновая и кварц-турмалиновая с вольфрамитом, касситеритом и бериллом минерализация является непромышленной. Сульфидно-касситеритовые руды обычно полностью окислены, первичные руды встречены только близ контакта с гранитами, содержание олова в них не превышает 0,2 %. Промышленные руды месторождения состоят в основном из турмалина, пирита, галенита, халькопирита, касситерита, пирротина, арсенопирита, флюорита. В полиметаллических рудах содержание свинца с глубиной уменьшается при одновременном увеличении содержания олова.

Силикатный тип

Месторождения силикатного типа расположены, как правило, вне срединных массивов, за пределами границ развития месторождений кварц-касситеритовой формации. Районы с силикатным типом оруденения приурочены к разломам или неясно выраженным зонам повышенной трещиноватости, отражающим строение фундамента, а также к позднегеосинклинальным наложенным структу-

рам, секущим общее направление консолидированных складчатых систем подвижных областей. Большинство известных месторождений силикатного типа тесно связано с небольшими многофазными интрузивами гранитоидов сложного состава и дайками трещинного типа, образующими цепочки или так называемые поперечные ряды. Состав интрузивов довольно пестрый — от диоритов до лейкократовых гранитов и аляскитов. Дайки обычно представлены фельзитами, лампрофирами, гранит-порфирами, диабазами и микродиоритами.

Контролирующими структурами магматических и рудных проявлений служат глубинные разломы фундамента, рудовмещающими — зоны дробления, трещинные системы отрыва в зонах дробления пород и разломы более высоких порядков. Благоприятные для локализации оруденения участки приурочены к местам пересечения и сопряжения зон повышенной трещиноватости различных направлений, их изгибам по простиранию и падению, а также к поверхностям структурного несогласия между разновозрастными литологическими этажами вмещающих пород. Вмещающие породы представлены песчано-сланцевыми отложениями и эффузивами, реже гранитоидами. Состав пород часто оказывает существенное влияние на развитие рудовмещающих структур и формирование разного типа рудных залежей. Контактный метаморфизм пород проявлен в их окварцевании, турмалинизации, хлоритизации и серицитизации.

По морфологическим особенностям среди рудных тел месторождений силикатного типа выделяют минерализованные зоны дробления и жилы, реже штокверкоподобные залежи (на нижних горизонтах). Наиболее крупные запасы олова сосредоточены в протяженных минерализованных зонах, в которых центральное положение занимают мощные тела кварц-турмалиновых и кварц-хлоритовых метасоматитов, сопровождаемых «чехлами» окварцевания и серицитизации в осадочных породах или пропицитизации в эффузивах. Особенно четко такое строение зон прослеживается на ряде месторождений силикатного типа Приамурья и Приморья (рис. 13). В зависимости от положения рудных тел в геологическом разрезе меняется состав минерализации: в нижних частях минерализованных зон в осадочной толще развито оловянное оруденение с ограниченным проявлением сульфидов, а в верхних частях (в большинстве случаев в вулканогенных отложениях) — медно-оловянная или оловянно-полиметаллическая минерализация, иногда полиметаллическая со слабой примесью олова.

Рудные жилы обычно ориентированы поперек рудоконтролирующих структур и образуют оловоносные полосы, фиксирующие простирание последних (Валькумейская и Омсукчанская рудные зоны на Северо-Востоке СССР, Комсомольский рудный район в Приамурье, Сарыджазская рудная зона в Киргизии). Глубина распространения промышленного оруденения достигает сотен метров. Месторождения разрабатываются в основном подземным способом.

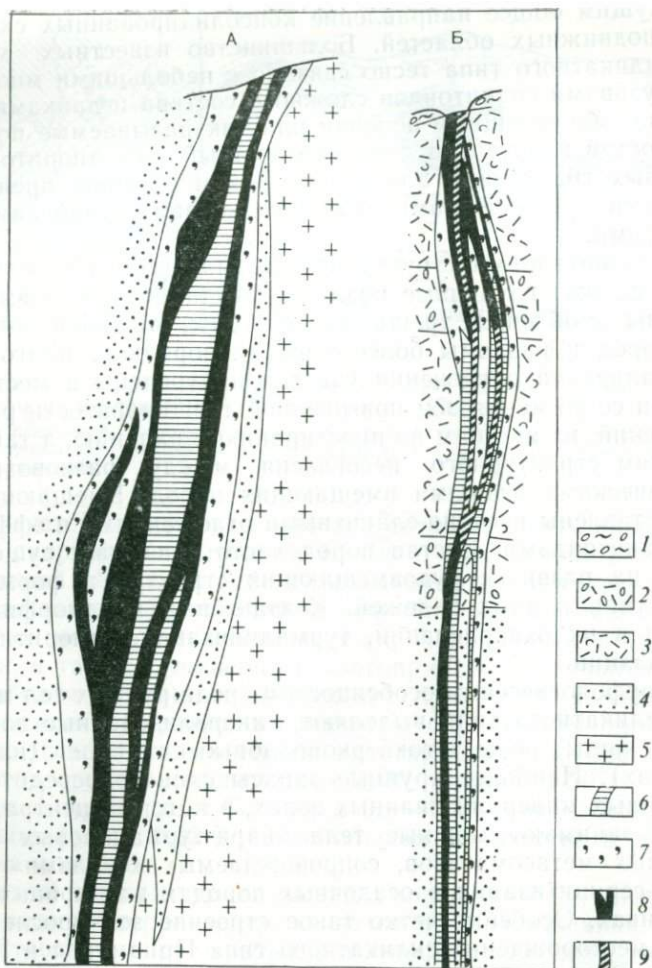


Рис. 13. Схематические геологические разрезы оловорудных месторождений силикатного типа. По И. С. Бойкову и др. (А) и Е. А. Радкевич и др. (Б).

1 — делювиальные отложения; 2 — нижнемеловые туфоконгломераты; 3 — нижнемеловые туфы кварцевых порфиров; 4 — юрские песчаники, алевролиты; 5 — кварцевые диориты, диорит-порфиры; 6 — кварцевые турмалиниты; 7 — кварц-серцитовые метасоматиты; 8 — кварц-касситеритовые жилы; 9 — кварц-сульфидные жилы

По особенностям пространственного размещения относительно рудоносных интрузивов, минерального и химического состава и технологии переработки руд силикатный промышленный тип месторождений можно подразделить на два самостоятельных подтипа оловянного оруденения — турмалиновый и хлоритовый. Часто встречаясь в пределах одних и тех же рудных зон, узлов и полей, месторождения турмалинового и хлоритового подтипов размещаются относительно друг друга с четко выраженной закономер-

ностью. В подавляющем большинстве случаев месторождения хлоритового подтипа располагаются во внешней зоне экзоконтакта рудогенерирующего источника или на некотором удалении от него, что менее характерно для оруденения турмалинового подтипа.

Руды месторождений турмалинового подтипа сложены в основном кварцем и турмалином (более 50 %), а также пирротиним, пиритом, халькопиритом, касситеритом, галенитом и сфалеритом. Кроме касситерита из промышленно ценных рудных минералов иногда присутствует вольфрамит. Руды вкрапленные, полосчатые и брекчиевые; касситерит в них среднезернистый. Содержание олова в рудах меняется (0,4—3,0 %), извлечение его в концентрат составляет 70—75 %. Масштабы оруденения — от мелких месторождений до весьма крупных. Характерными примерами оловорудных месторождений турмалинового подтипа могут служить месторождения Фестивальное и Долкоатс.

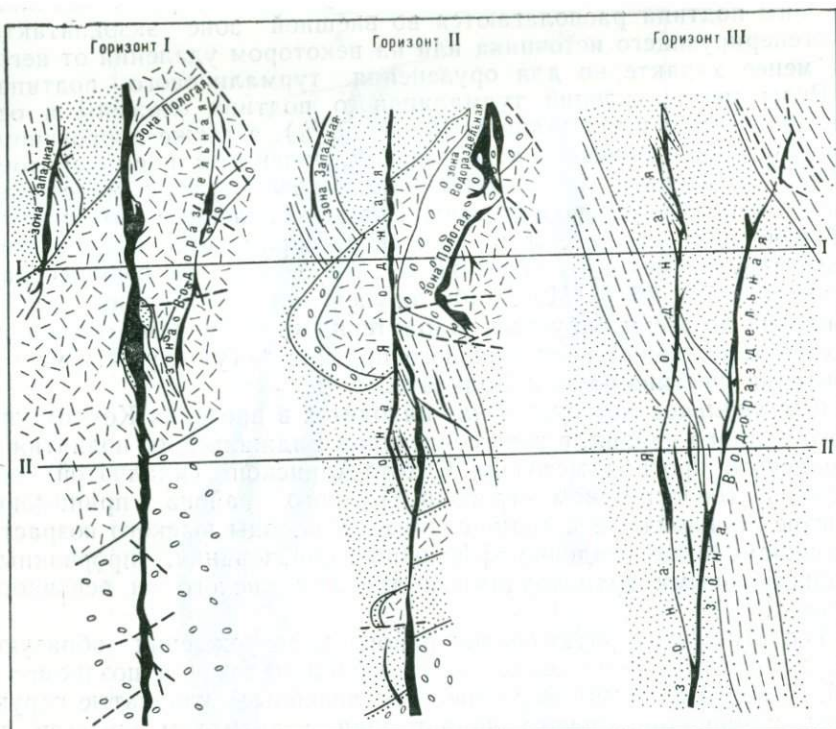
Фестивальное месторождение находится в пределах Комсомольского рудного района, в зоне сочленения Баджальского поднятия и Горинского прогиба мезозоид Сихотэ-Алинской складчатой области. В геологическом строении рудного района принимают участие флишеидные песчано-сланцевые породы юрского возраста и нижнемеловые осадочно-эффузивные образования, прорванные позднемеловыми гранитоидами и дайками кислого и основного состава.

Геолого-структурную основу района месторождения образуют два складчатых комплекса: юрско — раннемеловой и позднемеловой. К первому комплексу относятся линейные складчатые структуры субмеридионального направления с размахом крыльев до 3 км и крутым падением. Позднемеловой комплекс представлен приразломным прогибом, осложненным на западном фланге вулканической постройкой. Разрывные нарушения на месторождении выражены тремя системами: субмеридиональными сдвигами, субширотными сбросами и северо-западными сбросо-сдвигами. На площади месторождения установлены также многочисленные мелкие разрывные нарушения различной ориентировки, сопряженные с разломами основных систем.

Субмеридиональные нарушения — главные рудоконтролирующие структуры — представлены зонами повышенной трещиноватости с крупными трещинами скола и участками брекчирования, которые отчетливо прослеживаются в пределах всего Комсомольского рудного района. Центральное положение среди них занимает Перевальненская структура. К этому крупному тектоническому нарушению и оперяющим его разрывам и приурочены основные минерализованные зоны Фестивального месторождения.

Разломы субширотной и северо-западной ориентировки играют, как правило, важную роль в контроле оруденения при локальных условиях минералообразования (рис. 14).

На Фестивальном месторождении выделены три основные минерализованные зоны: Ягодная, Геофизическая и Водораздельная, в пределах которых локализовано большинство известных



Разрез по линии I—I

Разрез по линии II—II

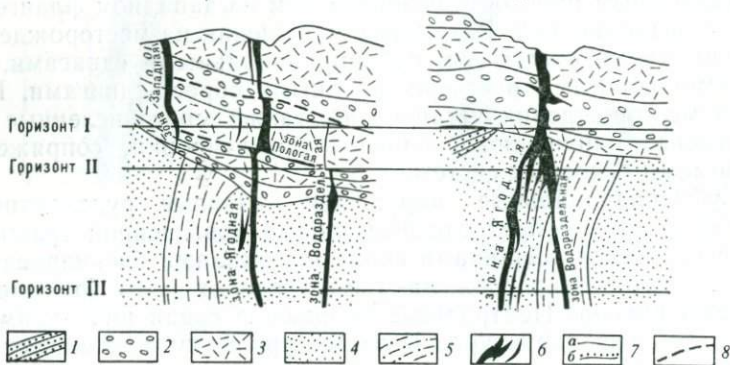


Рис. 14. Схема геологического строения Фестивального месторождения (составлена по материалам Н. В. Огнянова, 1977 г.).

1 — туфопесчаники; 2 — туфоконгломаты; 3 — туфы дацитов; 4 — мелко- и среднезернистые песчаники; 5 — тонкозернистые песчаники и алевролиты; 6 — минерализованные зоны; 7 — геологические границы пород (а — согласные, б — несогласные); 8 — тектонические нарушения.

рудных тел. Зоны Ягодная и Геофизическая приурочены непосредственно к Перевальненской рудоносной структуре, зоны Водораздельная и Западная расположены соответственно к востоку и западу от зоны Ягодной на незначительном расстоянии.

Зона Ягодная вместе с ее южным продолжением (зоной Геофизической) осложнена по простиранию и падению раздувами, пережимами, частыми ответвлениями апофиз и тонких прожилков. С Ягодной зоной тесно связана полуслепая зона Водораздельная; они соединены зоной Пологой, залегающей в межформационном срыве на границе чачек туфоконгломератов и туфов дацитов. Подобные пологие разрывные структуры постоянно сопровождаются крутопадающие тела турмалинитов в местах пересечения контактов грубо- и тонкозернистых пород.

Оруденение локализовано главным образом близ поверхности структурного несогласия меловых осадочно-вулканогенных и юрских терригенно-осадочных пород, что обусловлено резкой сменой структурно-литологических особенностей между образованиями юры и мела, а также значительной литологической неоднородностью осадочно-вулканогенных пород, в которых тонкозернистые туфопесчаники и туфы дацитов перемежаются с грубообломочными туфоконгломератами.

Минерализованные зоны месторождения сложены плотными черными турмалинитами, образующими мощные пластины, линзы, жиллообразные и ветвящиеся прожилковые тела. Все эти образования сопровождаются «чехлами» серицитового, кварцевого и хлоритового изменения вмещающих пород. Турмалиниты рассеяны жилами и тонкими параллельными и ветвящимися кварц-касситеритовыми прожилками, ориентированными преимущественно вдоль турмалиновых жил и редко выходящими за их пределы. Поздние кварц-сульфидные жилы отчетливо обособляются на нижних горизонтах минерализованных зон и, разрастаясь по восстанию, в значительной мере замещают как турмалиниты, так и кварц-касситеритовые образования. Для более поздних этапов формирования месторождений характерна кварц-карбонатно-сульфидная минерализация, которая во многих случаях выходит за контуры турмалинитов.

Н. В. Огняновым на Фестивальном месторождении выделены пять минеральных ассоциаций, отражающих стадийность процесса рудообразования: 1) ранняя кварц-турмалиновая с монокварцевыми, серицитовыми и реже пропилитоподобными образованиями; 2) кварц-касситеритовая с арсенопиритом, вольфрамитом и шеелитом; 3) кварц-сульфидная с халькопиритом, пирротином и магнетитом; 4) кварц-карбонатно-сульфидная с галенитом, сфалеритом, пиритом и марказитом; 5) кальцитовая с пиритом и кварцем.

Месторождение Долкоатс — наиболее крупное в Корнуэллской оловоносной провинции. Территория района сложена девонскими флишеидными песчано-сланцевыми толщами с подчиненными прослоями конгломератов, деформированными в складки субширотного простиранья. Породы разбиты многочисленными разрывными

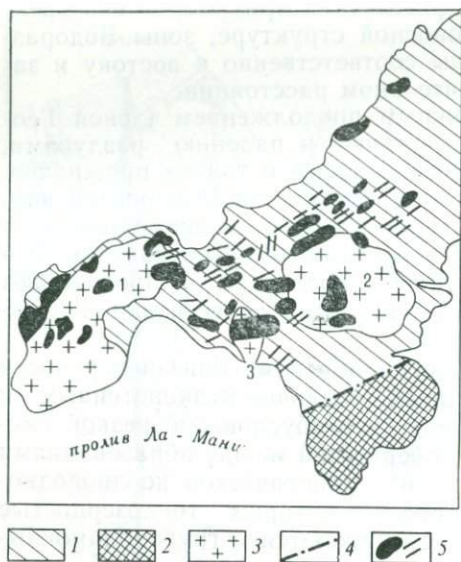


Рис. 15. Схема геолого-структурного положения оловорудных месторождений западной части Корнуэлльской провинции (составлена по материалам Х. Дайнса, 1956 г.).

1 — девонские флишоидные песчано-сланцевые толщи с прослоями конгломератов; 2 — гнейсы, метаморфические сланцы, основные и ультраосновные породы; 3 — массивы гранитов каменноугольно-пермского возраста (1 — Лэндс Энд, 2 — Карменеллис, 3 — Карн Бри); 4 — региональный разлом надвигового типа; 5 — оловорудные зоны, месторождения и рудопроявления

нарушениями и прорваны гранитными интрузивами. Среди нарушений преобладают субширотные разломы, продольные по отношению к складчатым сооружениям осадочных толщ, а также и северо-восточные разрывы, играющие важную роль в размещении магматических проявлений. Разрывы северо-восточного направления трассируются цепочками гранитных массивов и даек. Это направление также характерно для подавляющего большинства рудных тел Корнуэлла [4].

В районе широко распространены интрузивы гранитоидов округлой или эллипсовидной формы (рис. 15). По мнению многих английских геологов, массивы гранитов, обнажающиеся на поверхности, являются апикальными выступами крупного Корнубийского батолита, который протягивается под всей Корнуэллской оловянной провинцией. Большая часть массивов сложена грубозернистыми гранитами ранней фазы формирования. В поздние фазы внедрялись равномернозернистые граниты, микрограниты, пегматиты. На участках проявления процессов рудообразования граниты претерпели интенсивный метаморфизм, выразившийся в образовании плотных мелкозернистых кварц-турмалиновых метасоматитов, а также в окварцевании и хлоритизации гранитов.

Месторождение Долкоате приурочено к эндо-эзоконтактовым зонам гранитного массива Карн Бри, характеризующимся повышенной трещиноватостью осадочных пород и гранитов. Промышленное оруденение распространяется до 400—500 м выше и ниже контакта. Структура месторождения обусловлена наличием крупного разлома, вмещающего жилу Главную. Другие жилы выпол-

няют сопряженные с разломом трещины и прилегают к жиле Главной. Простираение рудных жил месторождения обычно субширотное и северо-восточное. Все они пересекаются серией субмеридиональных пострудных трещин со значительным смещением. С глубиной жилы переходят из песчаников и сланцев в граниты. На нижних горизонтах месторождения жилы приобретают брекчиевое строение; нередко здесь среди гранитов встречаются обломки осадочных пород и гранитов, цементированные зернистым кварц-турмалиновым и кварц-хлоритовым материалом.

В рудных жилах наблюдается отчетливая зональность, выраженная в преобладающем развитии оловянного оруденения в гранитах и в нижних частях рудных жил, залегающих в осадочных породах. В верхних частях рудных жил развито медное и в меньшей мере полиметаллическое оруденение. В составе руд ведущая роль принадлежит кварц-турмалиновой ассоциации — наиболее ранней стадии процесса минералообразования. В рудах присутствуют касситерит, вольфрамит, арсенопирит, халькопирит, пирит, сфалерит, галенит, станнин, сульфосоли серебра, мышьяка и сурьмы, аргентит и другие минералы.

Для месторождений **хлоритового подтипа** характерно преобладание в рудах кварца и хлорита (50 %), значительное увеличение количества сульфидов железа, свинца, цинка, меди и реже олова, весьма ограниченное развитие турмалина. Распределение олова в рудных телах относительно равномерно. Руды вкрапленные, полосчатые и брекчиевые, касситерит в них средне-, мелко- и тонкозернистый. Содержание олова в рудах 0,4—2,0 %, извлечение его в концентрат достигает в среднем 70 %. Масштабы оруденения средние до крупных. Примером месторождений хлоритового подтипа могут служить месторождения Арсеньевское и Зейфен.

Арсеньевское месторождение расположено в центральной части Главного синклиория Сихотэ-Алинской складчатой области, сложенной песчано-сланцевыми толщами раннемелового возраста, прорванными позднемеловыми интрузивами гранитоидов и перекрытыми (местами) туфоэффузивами позднего мела и палеогена. Месторождение приурочено к вершине вулканокупольного поднятия. Площадь его ограничена на западе и востоке мощными дайковыми «стенами», а на севере и юге — сбросами.

Район месторождения сложен нижнемеловыми осадочными отложениями, пирокластическими образованиями и изверженными породами позднего мела и палеогена. Осадочная толща представлена переслаивающимися пачками песчаников, алевропесчаников и алевролитов. Магматические образования занимают до 30 % объема месторождения, а с глубиной их доля увеличивается. Позднемеловой вулcano-плутонический комплекс объединяет дайки и малые субвулканические тела, заполняющие трубки взрыва и жерло вулкана. Состав их менялся во времени от базальтов до липаритов. Магматические образования палеогенового возраста протягиваются широкой полосой через центральную часть месторождения в северо-восточном направлении. Морфологически они

представлены мощными дайко- и штокообразными экструзивами, собственно дайками и телами взрывных брекчий. Состав их последовательно менялся от основного (диабазовые порфиры и трахибазальты) до ультракислого (трахипариты, микрограниты, аплиты). Предполагается, что на месторождении на глубине располагается гранитный массив позднемелового — раннепалеогенового возраста.

Площадь месторождения охватывает околосводовую часть и юго-восточное крыло Арсеньевской антиклинали северо-восточного простирания. Антиклинальная складка рассечена разрывными и сколовыми трещинами различной ориентировки, часто выполненными дайками разного состава. На западе рудное поле ограничивается разломом, к которому приурочены мощные и протяженные дайки дацитов (рис. 16).

Региональные зоны повышенной трещиноватости северо-западного (зона Оловянная) и северо-восточного (зона Арсеньевская) простираний, пересекаясь на площади месторождения, обусловили исключительную насыщенность территории магматическими образованиями, блоковое строение и многочисленность рудных проявлений жильного типа. Локальная трещиноватость тесно связана с региональной. Трещины северо-западного направления образуют четко выраженную зону сближенных разрывов, в которой локализованы основные рудные тела.

По мнению Б. И. Шершакова и М. М. Николаева, центр трещинообразования приурочен к глубинной части тектонической зоны, вмещающей жилы Южную и Индукционную, которые сопровождаются многочисленными сближенными параллельными и секущими жилами меньшего размера и прожилками, образующими жильные свиты или серии. Трещиноватость развивалась здесь от глубины, поверхности достигли лишь отдельные наиболее проработанные трещины, что обусловило «полуслепой» характер месторождения.

Жильные серии образуют весьма сложную минерализованную зону; с глубиной основные рудные тела сближаются, придавая зоне клиновидную форму. Вертикальная зональность выражена в увеличении сульфидов по восстанию, горизонтальная — в уменьшении интенсивности оруденения от центра к флангам и периферии. В процессе минералообразования выделены следующие стадии: кварц-касситеритовая, сульфидная и кварц-галлоидно-карбонатная, которые в свою очередь подразделяются на ряд фаз минерализации. Основная масса касситерита образовалась в раннюю кварц-касситеритовую стадию в ассоциации с ранним кварцем и хлоритом.

В последнее время близ вулканического жерла обнаружены субширотные метасоматические жилы и зоны с прожилково-вкрапленной минерализацией, наложенные на мощные ореолы турмалинизированных, серицитизированных и окварцованных пород. Эти жилы и зоны тесно ассоциируют с дацит-липаритовыми и кварц-порфировыми дайками и взрывами, активно замещая экспло-

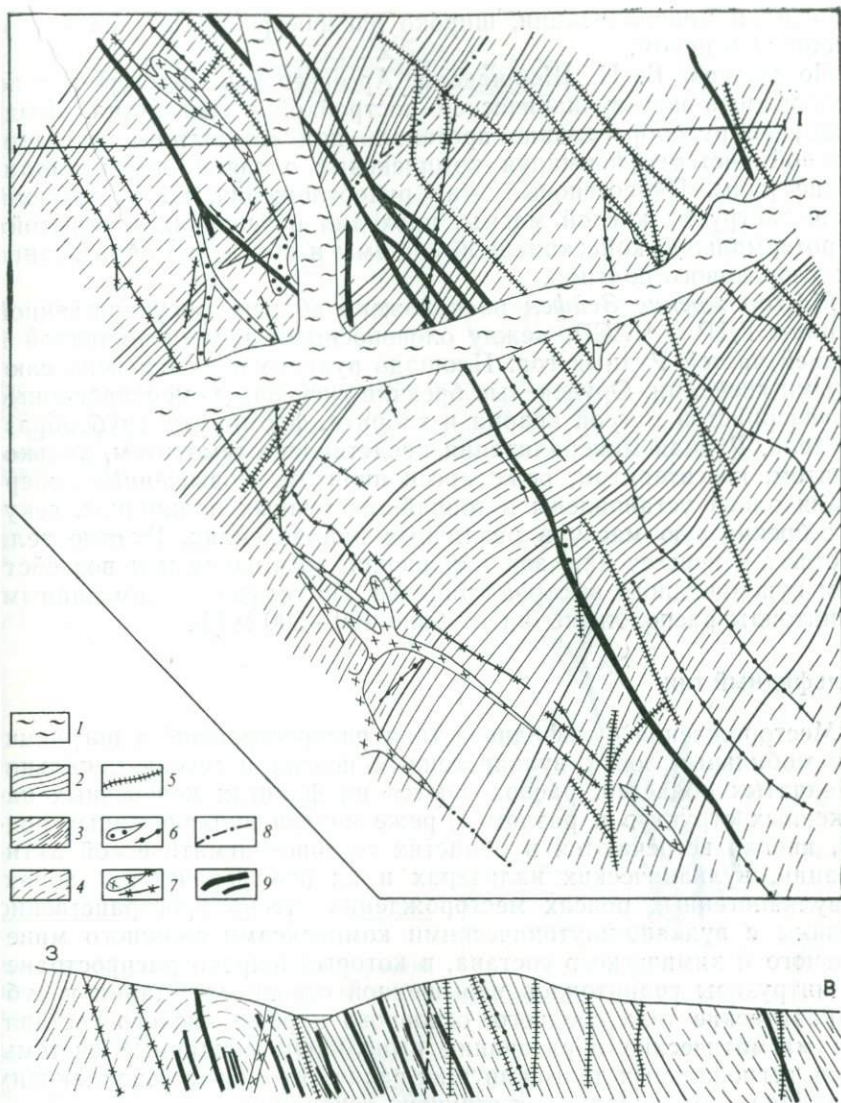


Рис. 16. Схема геологического строения Арсеньевского месторождения (составлена по материалам Г. Б. Нарбута, 1970 г.).

1 — аллювиальные отложения; 2 — алевролиты; 3 — алевропесчаники; 4 — песчаники; дайки: 5 — фельзитов, 6 — порфиритов, 7 — дацитов; 8 — тектонические нарушения; 9 — рудные жилы

живные брекчии. По составу руд выявленное оруденение относится к сульфидно-сульфосольному типу с высокими содержаниями серебра. Для такого оруденения весьма характерно практически полное отсутствие хлорита и минералов кварц-галоидно-карбонат-

ной стадии минерализации, широко распространенных на месторождении в целом.

По мнению Б. И. Шершакова, Арсеньевское месторождение образовалось под вулканической постройкой в два этапа. Позднемеловое рудообразование протекало при «открытой» гидротермальной системе, формируя комплексные оловянно-полиметаллические руды. Палеогеновый этап рудоотложения, последовавший после экструзий кислой магмы, проходил в условиях «закрытой» гидротермальной конвекционной системы и обусловил образование руд хлоритового подтипа.

Месторождение Зейфен расположено вблизи государственной границы ГДР и ЧССР, между оловоносными зонами восточной и средней частей Рудных гор. Площадь рудного поля сложена слюдяными гнейсами. Оруденелые брекчии гнейсов, сцементированные мелкозернистой массой кварца и хлорита, формируют трубообразное тело. Рудная минерализация представлена гематитом, халькопиритом, касситеритом, реже арсенипиритом. Повышенные содержания олова установлены в тончайших рудных прожилках, секущих брекчиевую массу в различных направлениях. Рудные тела тяготеют к пересечению зон нарушений, возникших под воздействием куполовидного выступа гранитов. По геофизическим данным, гранитоиды расположены на глубине 400—500 м [4].

Сульфидный тип

Месторождения сульфидного типа распространены в пограничных мобильных зонах вулканогенных поясов и геосинклинально-складчатых областей, располагаются на флангах поперечных наложенных структур и разломов, реже внутри вулканогенных поясов, иногда встречаются в областях тектоно-магматической активизации, вулканических кальдерах и их периферических зонах. В вулканогенных поясах месторождения тесно пространственно связаны с вулcano-плутоническими комплексами сложного минерального и химического состава, в которых широко распространены интрузивы гранитоидов повышенной основности, дайки и субвулканические тела среднего, основного и реже кислого состава. Эти магматические образования выполняют трещинные системы вдоль региональных долгоживущих разломов, иногда совпадающих с направлением складчатых структур основания.

Месторождения сульфидного типа формировались в близповерхностных условиях. Оруденение локализовалось в трещинах скола и разрыва, оперяющих рудоконтролирующие структуры — региональные зоны тектонических нарушений. Околорудные изменения вмещающих пород выражены хлоритизацией, серицитизацией и алуинитизацией. Наиболее крупные и выдержанные рудные тела приурочены к местам пересечения минерализованных зон с осевыми частями антиклинальных складок и представлены жилами, прожилковыми участками и метасоматическими залежами различных форм и размеров (рис. 17, 18). Глубина распространения

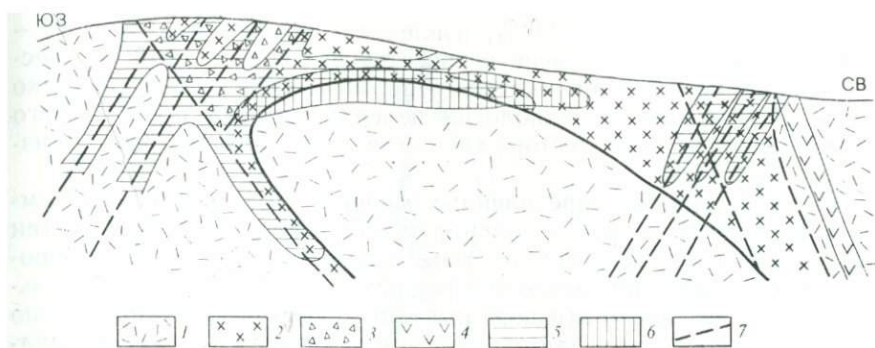


Рис. 17. Схематический геологический разрез Шерловогорского месторождения (составлен по материалам А. Я. Пьяникова, А. Т. Бибикова, 1975 г.).
 1 — палеозойские андезиты; 2 — кварцевые порфиры; 3 — эруптивные брекчи кварцевых порфиров; 4 — серпентиниты; 5 — оловянные руды; 6 — полиметаллические руды; 7 — тектонические нарушения

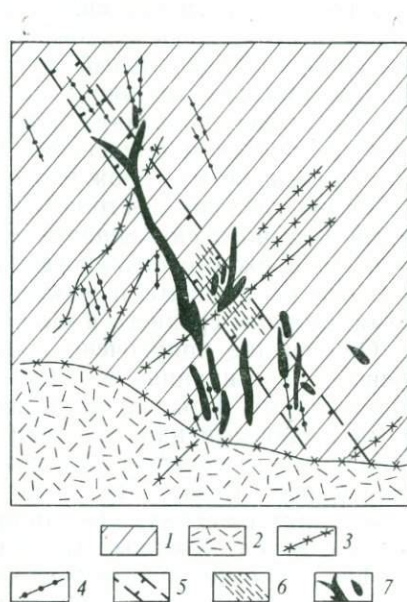


Рис. 18. Схема геологического строения месторождения Дальнее (составлена по материалам П. Ф. Иванкина).

1 — верхнемеловые песчано-сланцевые отложения; 2 — туфолавы; 3 — дайки кварцевых порфиров; 4 — дайки микродиоритов; 5 — зона повышенной трещиноватости; 6 — прожилковые руды; 7 — рудные жилы

промышленного оруденения меняется от 50 до 300 м. Месторождения разрабатываются подземным, реже открытым способом. Масштабы оруденения мелкие, средние и крупные.

Касситерит в рудах тонко- и мелкозернистый, часто образует сростания с сульфидами. Характерная особенность касситерита — практическое отсутствие в нем элементов-примесей группы тантала и ниобия при исключительно высоких содержаниях индия, представляющих во многих случаях промышленный интерес. Руды обычно вкрапленные и брекчиевые, труднообогатимые. Содержа-

ние олова в рудах 0,3—2,0 %, извлечение его в концентрат 40—60 %. По количеству запасов и качеству руд сульфидный тип месторождений уступает силикатному промышленному типу. Однако с совершенствованием технологии переработки руд роль данного промышленного типа месторождений в оловодобыче будет неизменно возрастать.

По преобладанию определенных минеральных ассоциаций, температурным условиям образования и геолого-структурной позиции месторождений в сульфидном типе выделены два основных промышленных подтипа: многосульфидный и сульфидно-сульфосольный. Пространственно эти подтипы оловянного оруденения обычно разобщены, реже встречаются совместно в пределах единого рудного поля. В последнем случае установлено, что один из подтипов всегда носит черты «подавленности», а другой имеет основную промышленную значимость [35].

По своей формационной принадлежности **многосульфидный (олово-полиметаллический) подтип** месторождений относится как к силикатно-касситеритовой, так и к сульфидно-касситеритовой формациям, являясь как бы «переходным» межформационным образованием. Минеральный состав руд месторождений данного подтипа весьма сложен: пирротин, кварц, сфалерит, касситерит, арсенипирит, галенит, станнин, кальцит, хлорит, антимонит, пирит. Типичным примером оруденения многосульфидного подтипа служит Дальнетаежное месторождение.

Дальнетаежное месторождение располагается в районе сочленения Главного синклинория Сихотэ-Алинской складчатой области и Прибрежного вулканогенного пояса. Площадь месторождения сложена осадочными породами среднеюрского возраста, прорванными дайками среднего и кислого состава.

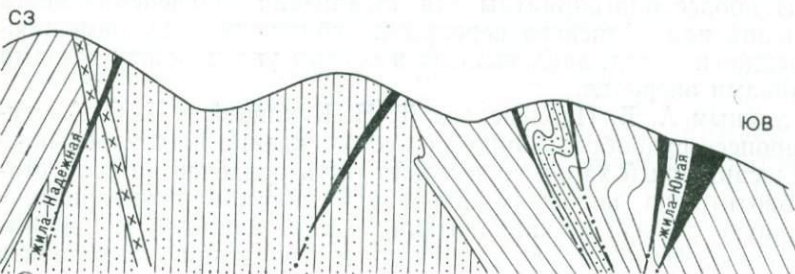
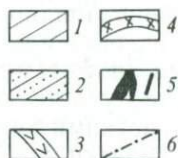
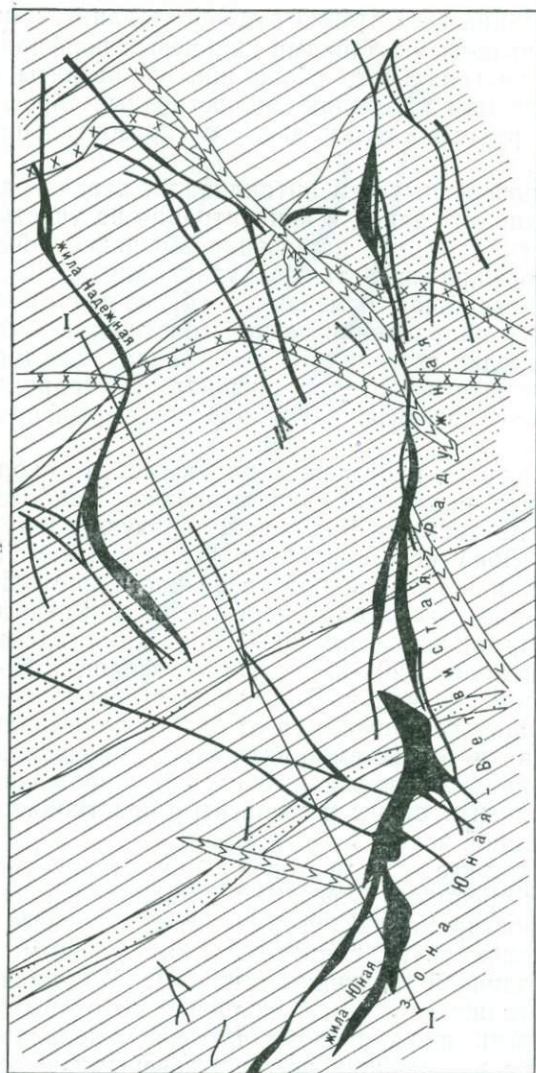
Оруденение приурочено к антиклинальной складке северо-восточного простирания, осложненной более мелкими пликативными нарушениями. Крылья антиклинали рассечены крупными продольными сколовыми нарушениями системы Колумбийского разлома, принятыми за естественные границы месторождения на северо-западе и юго-востоке. Эти согласные нарушения представлены мощными зонами смятия, рассланцевания и частичного дробления осадочных пород. Крупные трещины выполнены дайками кварцевых порфиров. Более мелкие участки рассланцевания и послонные рывы играют роль локальных экранов, определяющих ориентировку рудных столбов.

Субмеридиональные разрывные нарушения — главные рудомещающие структуры месторождения. Они имеют сложное внутреннее строение и состоят из серии сближенных трещин и зон дробления, к которым приурочены основные минерализованные зоны месторождения (Юная — Ветвистая — Радужная и Чародейка — Надежная — Марица), параллельные крупному тектоническому нарушению, вскрытому скважинами под аллювием (рис. 19).

Система трещин свола западно-северо-западного направления сопрягается с субмеридиональными структурами. В этих трещи-

Рис. 19. Схема геологического строения Дальнетаежного месторождения (составлена по материалам П. Н. Антонова с дополнениями В. В. Анахова, 1978 г.).

1 — сланцы, алевролиты; 2 — песчаники с прослоями сланцев и алевролитов; 3 — дайки порфиров; 4 — дайки кварцевых порфиров; 5 — минерализованные зоны и рудные жилы; 6 — тектонические нарушения



нах отмечается минерализация всех стадий рудообразования, наиболее ранние нарушения выполнены дайками кварцевых порфиров и порфиритов. Трещины диагонального скола широко развиты в пределах рудного поля, по ним наблюдаются пострудные сбросо-сдвиговые перемещения рудных тел и даек с горизонтальной амплитудой до 20 м.

Для трещин отрыва, поперечных оси антиклинали, характерно крутое ($70-85^\circ$) падение на юго-запад и концентрация на участке максимального перегиба складки, где нарушения вмещают дайки кварцевых порфиров и порфиритов, а также рудную минерализацию (жила Сильва). По трещинам отмечаются сбросо-сдвиговые подвижки, однако данные о направлении разновозрастных перемещений противоречивы. Нередко встречаются пологопадающие трещины небольшой протяженности, которые оперяют субмеридиональные рушения, вмещают апофизы даек кварцевых порфиров и мелкие рудные тела.

В пределах Дальнетаежного месторождения известно около трех десятков рудных жил различной ориентировки. Наиболее крупные из них — Юная, Ветвистая и Радужная, образуют единую минерализованную зону. Зона пересекает под углом около 70° вмещающую антиклиналь и в центральной своей части проходит в экзоконтакте дорудных даек диоритовых порфиритов или пересекает их на интервалах протяженностью 80—100 м. Простираение минерализованной зоны меняется: $20-33^\circ$ на южном фланге, $320-330^\circ$ в центре и на северном окончании. Внутреннее строение зоны очень сложное, на 1 м мощности приходится от одного до нескольких десятков прожилков и бессистемно-пятнистых проявлений оруденения. Однако индивидуализированные жилы, прожилки, гнезда и линзы хорошо ориентированы и согласны с простираением и падением минерализованной зоны.

Как уже отмечалось, рудные тела месторождения локализируются в сложно построенных трещинных системах субмеридионального и северо-западного простираений. По форме это сближенные и кулисообразные протяженные жилы, сопровождаемые лучевыми и дугowymi апофизами различной величины (рис. 20). В строении рудных тел участвуют ветвящиеся жилы выполнения приоткрытых пустот с четкими контактами, прожилково-сетчатые и минерализованные участки дробления вмещающих пород с неясными границами. Наиболее благоприятны для локализации оруденения места пересечения или кулисного перекрытия сближенных рудовмещающих трещин и пород, заключенных в острых углах между жилами и трещинами оперения.

По данным А. Б. Павловского, Т. Н. Куклиной и И. С. Анисимова, процесс рудообразования на месторождении носит прерывистый пульсационный характер и может быть разделен на семь стадий: биотитовую, вольфрам-кварцевую, арсенопирит-кварцевую, сульфидную, сульфидно-карбонатную, адуляр-кварцевую и пирит-кальцитовую. Наиболее продуктивна в отношении касситерита арсенопирит-кварцевая стадия.

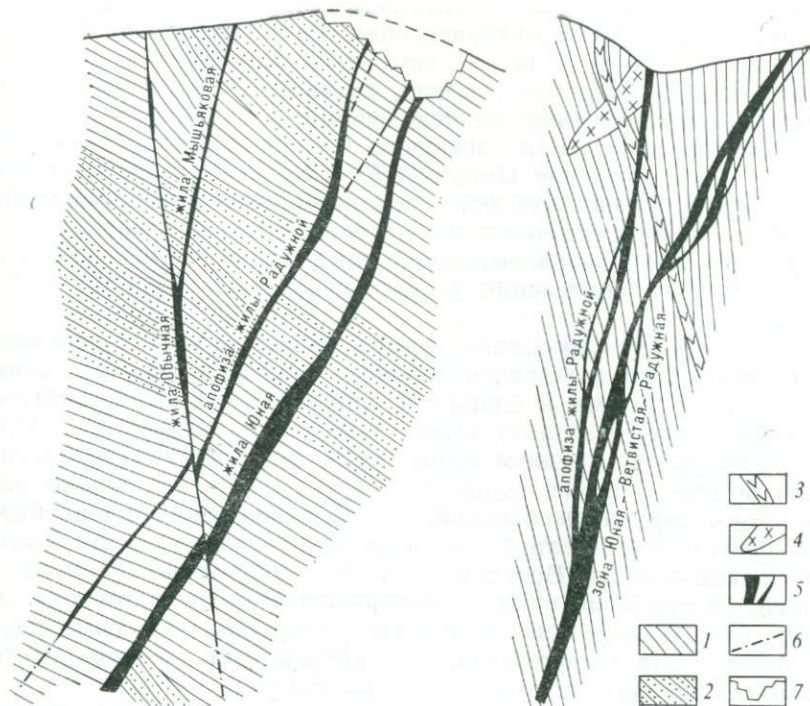


Рис. 20. Схематические геологические разрезы Дальнегеижного месторождения (составлены по материалам В. В. Анахова, 1978 г.).

1 — сланцы, алевролиты; 2 — песчаники с прослоями сланцев и алевролитов; 3 — дайки порфиров; 4 — дайки кварцевых порфиров; 5 — минерализованные зоны и рудные жилы; 6 — тектонические нарушения; 7 — карьер

Сульфидно-сульфосольный (олово-серебряный) подтип месторождений обычно приурочен к купольным и глыбовым поднятиям по периферии мезо-кайнозойских вулканогенных поясов, а также к площадям неогеновых вулканогенных поясов, наложенных на более древние складчатые структуры (Аргентина, Боливия). Вещественный состав руд данного типа характеризуется высоким содержанием пирита, а также сфалерита, пирротина, кварца, касситерита, станнина, минералов серебра.

В качестве примера оловорудных месторождений этого подтипа обычно рассматривают месторождения Боливии. В южной части оловоносного пояса Боливии широко распространено промышленное олово-серебряное оруденение (месторождения Потоси, Льяльягуа, Сан-Хосе-де-Оуро и др.). Рудные тела локализованы в штокообразных субвулканических интрузивах дацит-липаритов, переходя на глубину во вмещающие палеозойские и более молодые породы, или в зонах нарушений среди палеозойских образований вне видимой связи с интрузивными телами. Рудоотложению повсеместно предшествовали интенсивные дорудные метасоматические изме-

нения вмещающих пород: алунитизация, пропицитизация, каолинизация, серицитизация, хлоритизация. Руды месторождений олово-серебряного подтипа всегда комплексные, сложного состава, в них преобладают серебро и олово, местами в повышенных количествах встречаются цинк, свинец, сурьма, медь, кадмий и золото, иногда вольфрам. Содержания олова и серебра в рудах довольно высокие (месторождение Потоси: 0,5—1,3 % олова, 300 г/т серебра). Обычно считают, что формирование олово-серебряных месторождений Боливии связано с позднегеретической тектоно-магматической активизацией эпипалеозойской платформы. Абсолютный возраст оловянного оруденения здесь варьирует в пределах 20,0—7,5 млн. лет.

Месторождение Сан-Хосе-де-Оруро расположено в центральной части Боливийского оловянного пояса. Площадь месторождения сложена аргиллитами и сланцами ордовика и силура, смятыми в антиклинальную складку северо-западного простирания. Оруденение приурочено к двум сближенным штокам дацитов плиоценового возраста. В осадочной толще и вулканитах широко развиты зоны дорудных брекчий, представленные неправильными в поперечном сечении трубками и трубообразными телами взрывного происхождения. Брекчии состоят из обломков дацитов и сланцев, сцементированных тонкозернистым материалом того же состава. Размещение оруденения контролируется скрытым разломом фундамента северо-западного направления и маркируется концентрацией даек, штоков и тел брекчий [26].

В минерализованной зоне месторождения выделены четыре группы сближенных оловорудных жил: Сокавон, Сан-Хосе, Колорада и Итос, имеющих в основном северо-восточное и северо-западное простирание. Наиболее выдержанные жилы залегают в дацитах и брекчиях, а наиболее крупные и богатые — на контакте дацитов со сланцами и брекчиями (рис. 21). В сланцах жилы вет-

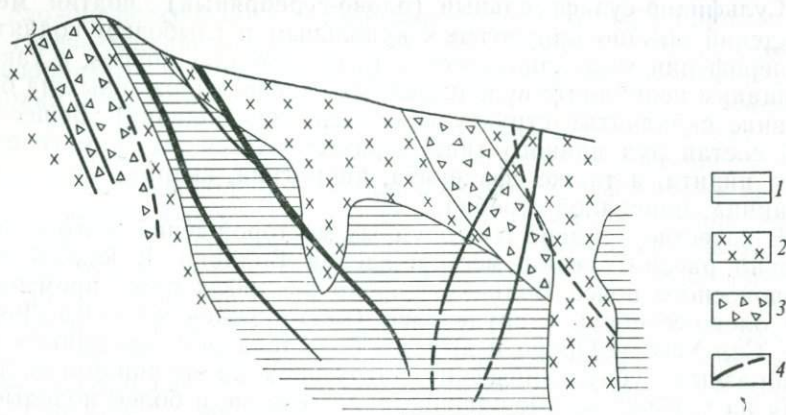


Рис. 21. Схема поперечного разреза месторождения Сан-Хосе-де-Оруро (составлена по материалам В. Торманна, 1966 г.).

1 — аргиллиты, сланцы; 2 — дациты (порфиры?); 3 — брекчии; 4 — рудные жилы

вятся, содержание олова в них уменьшается. На участке между жилами Итос и Колорада в лавах дацитов установлены вкрапленные касситеритовые руды.

Дорудные гидротермальные изменения проявились в основном в изверженных породах в виде пропилитизации, окварцевания, серицитизации, пиритизации и алунитизации. Турмалинизация, сопровождавшая начальную стадию отложения касситерита, охватила только нижние части жил. На месторождении установлены две стадии формирования рудной минерализации: ранняя оловянная и поздняя серебряная. На первой стадии образовались пирит (около 85 % жильной массы), кварц, касситерит и арсенопирит, местами присутствует турмалин. Для второй стадии характерны проявления сфалерита, халькопирита, станнина, андорита, фрейбергита, джемсонита, буланжерита, франкеита, галенита и других минералов. Главные серебросодержащие минералы — андорит и фрейбергит. В зоне окисления мощностью от 20 до 150 м развиты остаточные руды, состоящие из касситерита, лимонита, кераргирита, ярозита и церуссита.

Вертикальная зональность оруденения выражается во взаимоотношениях оловянных и серебряных руд. Распространение на глубину оловянных руд уступает протяженности жил с серебряным оруденением. Оловянно-серебряные руды с глубиной переходят в серебряные. Вертикальный интервал богатого оруденения около 300 м. Горизонтальная зональность выражена менее четко.

Оловоносные россыпи

Генетически россыпи связаны со всеми известными природными типами оловянного оруденения. Однако основными источниками образования промышленных скоплений касситерита в россыпях служат месторождения грейзенового, кварцевого и скарнового типов. Масштабы россыпей определяются морфологическими особенностями коренных источников, глубиной их эродированности, геоморфологическими и климатическими условиями, существовавшими в период формирования россыпей. Оловоносные россыпи в основном монометалльные, реже с присутствием вольфрамита, золота и минералов тантала и ниобия.

Формирование россыпей и освобождение касситерита от вмещающей породы — весьма сложный и длительный процесс, начинающийся в элювиальную и завершающийся в аллювиальную стадию. По условиям образования оловоносные россыпи разделяют на элювиальные, делювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские и озерные. По условиям залегания среди них особое положение занимают погребенные россыпи.

Элювиальные россыпи наиболее широко развиты в странах с жарким и влажным климатом, где возникают в результате процессов преимущественно химического выветривания. При интенсивном развитии этих процессов образуются коры выветривания или остаточные месторождения, часто перекрытые более поздними гео-

логическими образованиями. Элювиальные россыпи обычно размещены на плоских возвышенностях и пологих склонах в местах выхода коренных месторождений олова на современную поверхность. Общее значение элювиальных россыпей в мировом производстве оловянных концентратов довольно высокое.

Делювиальные россыпи формируются в результате перемещения по склону элювиального материала, образовавшегося при разрушении коренного источника. Распределение касситерита в оловянном делювии крайне неравномерно, сортированность материала возрастает по мере увеличения пути перемещения. Делювиальные россыпи в классическом виде встречаются довольно редко, обычно наблюдаются переходные разности: делювиально-аллювиальные, пролювиальные, аллювиально-делювиальные. Запасы олова в делювиальных россыпях ограничены.

Аллювиальные россыпи имеют наибольшую практическую значимость и развиты во всех климатических зонах. Россыпи характеризуются равномерным распределением касситерита в пределах отдельных оловоносных площадей, связанных с единым коренным источником. Содержание и распределение касситерита в россыпях не зависит от его распределения в материнских породах, в большей мере на это оказывает влияние характер плотика. В отличие от элювиальных и делювиальных россыпей в аллювии практически не встречается в промышленных скоплениях вольфрамит. Наиболее часто аллювиальные россыпи формируются в долинах водотоков. К бортам долин аллювиальные россыпи постепенно сменяются аллювиально-делювиальными и далее делювиальными.

Прибрежно-морские россыпи широко распространены в странах Юго-Восточной Азии. Россыпи отличаются хорошей отсортированностью рыхлого материала, смещением оловосодержащих отложений, своеобразием их захоронения и обычно подразделяются на три разновидности: древние россыпи морских террас, россыпи погруженных под уровень моря древних долин и плоских водоразделов, современные россыпи морских пляжей и кос, в том числе припляжных участков морского дна.

Озерные россыпи обладают, как правило, небольшими запасами. Они, как и россыпи морских пляжей, формируются за счет разрушения коренных месторождений в районе береговой линии. Погребенные россыпи по условиям образования могут быть отнесены к любому из рассмотренных выше разновидностей россыпей. Для погребенных россыпей характерен значительный перерыв во времени образования оловоносных и перекрывающих толщ. Последние представлены обычно ледниковыми, озерными, морскими и вулканогенными отложениями. Мощность перекрывающих толщ может достигать нескольких сотен метров.

В настоящее время оловоносные россыпи — основной поставщик олова, в них сосредоточено 65 % мировых запасов металла, удельный вес оловодобычи из россыпей составляет более 75 %.

Аллювиальные оловоносные россыпи р. Кинта расположены в центральной части западной окраины п-ова Малакка, где сосредото-

Рис. 22. Схема размещения оловоносных россыпей западной части п-ова Малакка (составлена по материалам Н. Кюна, 1960 г.).

1 — песчано-сланцевые отложения; 2 — граниты; 3 — оловоносные россыпи

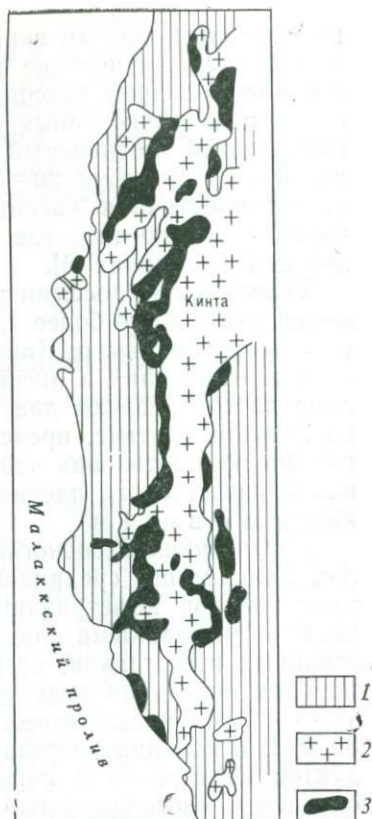
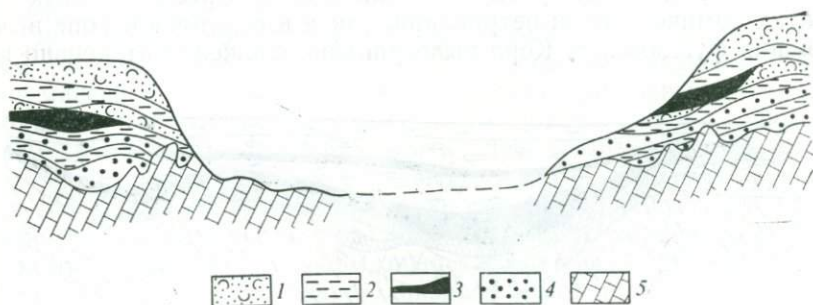


Рис. 23. Схематический разрез аллювиальных оловоносных россыпей долины р. Кинта. По В. Р. Джонсу.

1 — пески с древесными остатками; 2 — глины; 3 — лигниты; 4 — оловоносные пески; 5 — известняки плотика



точена основная добыча олова в Малайзии. Подавляющее большинство россыпных месторождений образовалось здесь в плейстоцене близ коренных месторождений, тяготеющих к зоне контакта гранитных интрузивов с осадочными породами (рис. 22). Оловоносные граниты прослеживаются в виде линейно вытянутых в меридиональном направлении широких полос, кулисно сменяющих друг друга. Оруденение представлено кварц-касситеритовыми жилами,

штокверками, зонами вкрапленных руд в гранитах и вмещающих породах. Возникновение крупных аллювиальных россыпей обусловлено наличием площадного распространения коренных источников и многочисленных боковых водотоков, приносящих обильный рыхлый оловоносный материал в основную долину. Мощность россыпей составляет 20—30 м, иногда достигает 100 м. Наибольшая концентрация касситерита наблюдается в приплотиковой части, особенно там, где водотоки пересекают осадочную толщу вкрест простирания [4].

Оловоносные россыпи р. Кинта прослежены на 100 км, из россыпей уже добыто более 1,2 млн. т олова. В разрезе аллювиальных отложений долины р. Кинта отмечаются пески, глины, песчано-галечные отложения и лигниты (рис. 23). Оловоносные пески в долине часто образуют два пласта, причем верхний пласт залегает на ложном плотике, представленном слоем глины. Наиболее обогащена приплотиковая часть, содержание олова в карстовых провалах известкового плотика местами достигает первых десятков килограммов на 1 м³.

Погребенная оловоносная россыпь Озерная находится в пределах Ханкайского срединного массива и относится к россыпям остаточных кор выветривания. Площадь месторождения сложена метаморфизованными сланцами докембрия с прослоями мраморизованных известняков, прорванных палеозойскими гранитами. На породах основания развиты наложенные мульды, выполненные угленосными палеоген-неогеновыми отложениями мощностью до 80 м. В основании разреза прослежен пласт переотложенных продуктов выветривания пород фундамента — разрушенного щелья сланцев с многочисленными обломками кварца и кварц-турмалиновых пород (рис. 24).

Скопления касситерита отмечены как в переотложенных продуктах химического выветривания, так и в остаточной коре выветривания фундамента. Кора выветривания сложена интенсивно као-

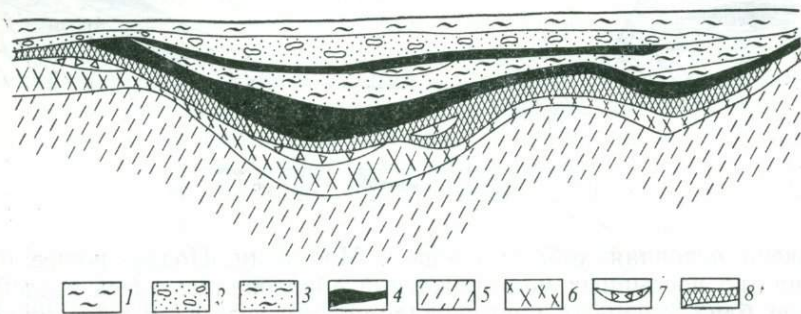


Рис. 24. Схематический геологический разрез погребенной оловоносной россыпи Озерной (составлена по материалам А. Ф. Крамчанина).

1 — глины и алеврито-глинистые породы; 2 — песчано-галечниковые отложения; 3 — песчано-глинистые породы; 4 — бурые угли и углистые породы; 5 — метаморфические сланцы; 6 — кора выветривания; 7 — оловоносные брекчии; 8 — оловоносная россыпь

линизированными хлорит-серицитовыми и серицитовыми сланцами, превращенными в глинистую массу с отчетливой первичной текстурой, жилами и прожилками кварц-турмалиновых образований. Мощность оловоносного пласта меняется от 0,6 до 32 м, в среднем 13,3 м. Около 65 % пласта приходится на остаточную кору фундамента. Примерно 60 % кристаллов касситерита представлены тонкозернистым материалом.

ГЛАВА 4

Промышленные типы месторождений вольфрама

В геологической истории развития земной коры и геохимических циклах ее отдельных минерализованных участков вольфрам многократно перераспределялся и постепенно накапливался сначала в осадочных и вулканогенных толщах, затем в метаморфогенных породах и далее в ареалах распространения интрузивных гранитоидных образований преимущественно кислого состава. Последние занимают определенное положение в развитии тектонических структур периода орогенной активизации как в молодых складчатых областях, так и на участках ранней консолидации земной коры. Проявления орогенеза в различных ситуациях обусловили различные черты магматизма и сопутствующего вольфрамового оруденения, которые определяют основные вольфраморудные формации и входящие в их состав промышленные типы месторождений вольфрама (табл. 16).

Оруденение олово-вольфрамовой формации тяготеет к структурам устойчивого геоантиклинального развития (включая срединные массивы), ограниченным позднегеосинклинальными или наложенными прогибами, с многократным проявлением гранитного магматизма. Рудоносный магматизм здесь отвечает одному из поздних этапов формирования сводовых поднятий. Оруденение молибден-вольфрамовой формации приурочено к линейным структурам активизации, наложенным на ранее консолидированные подвижные области и окраины платформ, представляющие собой совокупность впадин и поднятий мозаично-блокового строения с широким развитием вулcano-плутонических комплексов коровых гранитоидных пород. Оруденение ассоциирует с наиболее поздними сериями кислых гранитоидов повышенной щелочности, формирующимися на малых глубинах в структурах линейных и кольцевых разломов. Оруденение сульфидно-вольфрамовой формации связано со структурами некомпенсированных наложенных прогибов, выполненными преимущественно континентальными молассами и вулканитами среднего и кислого состава, а также их интрузивными аналогами. Ареалы интрузивных пород и сопутствующее им оруденение распространя-

Промышленные типы вольфрамовых месторождений

| Рудная формация | Геолого-тектоническое положение | Характер магматизма |
|--|---|--|
| Сульфидно-вольфрамовая | Крупные линейные, контролирующие положение фрагментов вулканогенных поясов; зоны поперечных разломов, сопряженные со структурами вулканогенов и проникающие в смежные выступающие блоки их фундамента | Небольшие внегесинклинальные интрузивы гранитоидов, отвечающие по составу гранодиоритам и плагиогранитам |
| Олово-вольфрамовая и молибден-вольфрамовая | <i>Олово - вольфрамовая формация.</i> Антиклинальные структуры ранней консолидации складчатых областей; внутригесинклинальные поднятия; внешние зоны срединных массивов; зоны тектоно-магматической активизации древних платформ и реже щитов; зоны краевых разломов. Оруденение контролируется наиболее поздними структурами этапа активизации с проявлениями интрузивных образований гранодиорит-гранитной формации, которым предшествовал длительный период геоантиклинального режима развития субстрата | <i>Олово - вольфрамовая формация.</i> Батолитоподобные интрузивы крупно- и среднезернистых биотитовых гранитов, сменяющиеся в эндоконтактовых частях мелкозернистыми разностями и реже гранодиоритами. Производные гранитоидов — малые тела и дайки гранитов, гранит-порфиров и кварцевых порфиров. Гранитоиды поздних фаз, часто контролирующие оруденение, обычно тяготеют к апикальным выступам гранитов главной фазы кристаллизации. Все члены интрузивных комплексов формируются на умеренных глубинах (2—5 км от палео-поверхности) |
| | <i>Молибден - вольфрамовая формация.</i> Зоны тектоно-магматической активизации ранее консолидированных складчатых областей и окраин платформ с общим воздыманием земной коры. Оруденение контролируется линейными сквозными нарушениями — линейными, с которыми тесно связаны вулканоплутонические комплексы длительного формирования | <i>Молибден - вольфрамовая формация.</i> Многофазные малоуглубинные интрузивы гранитоидов гранит-лейкогранитовой формации со сложным внутренним строением. Преобладают лейкократовые граниты крупно- и среднезернистой структуры, которые в краевых частях интрузивов постепенно сменяются мелкозернистыми порфировыми разностями. Массивы гранитов прорваны дайками аплитов, гранит-порфиров, микродиоритов и лампрофиров. Наиболее продуктивными на вольфрам и молибден являются граниты поздней фазы и ассоциирующие с ними многоактные дайки |

| Промышленный тип | Рудовмещающие структуры | Морфологические особенности рудных тел и способы отработки месторождений | Текстурные особенности руд | |
|------------------|---|---|--|--|
| Скарновый | Сложные системы трещин скола и отрыва в приконтактовых частях интрузивов гранитоидов и осадочных пород | Залежи сложной формы, реже жиллообразные. Глубина распространения оруденения 800—1000 м. Разработка открытым и подземным способами. | Руды массивные, брекчиевые, прожилковые, вкрапленные. Размеры зерен шеелита от долей миллиметра до 15 мм | |
| Грейзеновый | Сближенные контракционные трещины скола и отрыва в кровле интрузивов гранитоидов, иногда в надкуполных экзоконтактовых зонах гранитных интрузивов | Залежи неправильной формы, иногда овальной или линейно-вытянутой, реже жильно-штокверковые залежи. Глубина распространения оруденения 200—300 м. Разработка открытым способом | Руды массивные, прожилковые, вкрапленные. Вольфрамит, касситерит и молибденит часто образуют спорадическую вкрапленность. Размеры выделений вольфрамита от сотых долей миллиметра до 50 мм | |
| Кварцевый | Вольфрамитовый | Трещинные системы в эндоконтактовых частях гранитных интрузивов, часто в надкуполных экзоконтактовых зонах пород различного состава | Минерализованные зоны и жилы, реже штокверковые залежи. Глубина распространения оруденения 600 м. Разработка подземным, реже открытым способами | Руды массивные, вкрапленные, реже брекчиевидные. Размер выделений вольфрамита от 3 до 50 см, касситерита от 0,05 до 1 см, редко до 15 см |
| | Шеелитовый | Сложные системы трещин скола и отрыва в около- и надкуполных зонах интрузивов | Неправильные, сложной формы штокверковые залежи, реже минерализованные зоны и жилы. Глубина распространения оруденения 1000 м и более. Разработка открытым, реже подземным способами | Руды прожилковые, реже брекчиевые и вкрапленные. Размеры выделений шеелита от 1 мм до 10 см |

| Промыш- ленный тип | Минеральный состав руд* | Качество и технологические свойства руд | Масштабы месторождений | Типовые месторождения | |
|--------------------------|--|--|--|---|---|
| | | | | | |
| Скарновый | Гранат, пироксен, амфибол, эпи- дот, кварц, апатит, пирротин, шеелит, молибденит, халькопирит, кальцит, альбит, пирит, актинолит, касситерит, сфалерит, диопсид, мусковит, галенит, барит | Содержание в рудах WO_3 до 2,5 %; молибдена 0,02—1,5 %; свинца и цинка до 5 %; меди до 3 % Извлечение из руд в концентрат WO_3 75—80 %; молибдена 70—90 % | Мелкие, средние, крупные, весьма крупные | <i>Сульфидно - вольфрамовая формация.</i> Агылкынское, Восток-2, Лермонтовское (СССР); Чен-Чан (КНР) <i>Олово - вольфрамовая формация.</i> Ин- гичке, Майхура (СССР); Пайн-Крик, Милл-Сити (США); Доджер, Флат-Ривер (Канада) <i>Молибден - вольфрамовая формация.</i> Тырныауз, Чорух - Дайрон, Койташ (СССР); Хуанподи (КНР) | |
| | Кварц, мусковит, альбит, флюорит, турмалин, вольфрамит, касситерит, молибденит, минералы висмута, галенит, сфалерит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, топаз, апатит, пирит | Содержание в рудах WO_3 до 2 %; молибдена 0,03—0,3 %; олова — доли процента Извлечение из руд в концентрат WO_3 65—70 %; молибдена — 75—85 %; олова — до 50 % | Мелкие, средние | <i>Олово - вольфрамовая формация.</i> Спо- койнинское, Бырылыэлах (СССР); Пяотан (КНР); Садисдорф (ГДР) <i>Молибден - вольфрамовая формация.</i> Акчатау, Караоба, Калгутинское (СССР); Сихуашань (КНР) | |
| Кварцевый | Вольфрамитовый | Кварц, мусковит, топаз, альбит, флюорит, вольфрамит, касситерит, арсенопирит, сульфиды железа, свинца, цинка, повышенная примесь тантала и ниобия | Содержание в рудах WO_3 до 1 %; олова — до 0,8 %; меди — до 2 %. Извлечение из руд в концентрат WO_3 75—80 %; олова 80—85 % | Мелкие, средние, крупные | <i>Олово - вольфрамовая формация.</i> Иуль- тин, Светлое, Аляскитовое (СССР); Па- нашкейра (Португалия); Шанпин (КНР) |
| | | Шеелитовый | Кварц, мусковит, пирит, шеелит, халькопирит, молибденит, вольфрамит, галенит, сфалерит, полевой шпат, флюорит, топаз, цеолит, карбонаты | Содержание в рудах WO_3 0,15—0,5 %; молибдена 0,03—0,1 %. Извлечение из руд в концентрат WO_3 85—90 %; молибдена — до 90 % | Мелкие, средние, крупные, весьма крупные |

| Рудная формация | Геолого-тектоническое положение | Характер магматизма |
|--------------------|--|---|
| Олово-вольфрамовая | Аналогично положению месторождений скарнового, грейзенового и кварцевого типов олово-вольфрамовой формации | Аналогичен характеру магматизма на месторождениях скарнового, грейзенового и кварцевого типов олово-вольфрамовой формации |

| Промышленный тип | Минеральный состав руд* | Качество и технологические свойства руд |
|------------------|---|---|
| Силикатный | Турмалин, кварц, хлорит, пирит, пирротин, халькопирит, касситерит, вольфрамит, галенит, сфалерит, арсенопирит, аксинит, флюорит, мусковит, станнин, антимонит | Содержание в рудах WO_3 до 0,5 %; олова 0,4—3,0 % Извлечение из руд в концентрат WO_3 60—65 %; олова 70—75 % |

* Шрифтом выделены главные минералы.

ются за пределами прогибов в смежные с ними поднятия по системам сопряженных разломов.

Скарновый тип

Известно, что подавляющее большинство вольфрамоносных скарнов с промышленно ценным оруденением относится к биметасоматическим образованиям, возникшим в результате просачивания растворов по контактам химически разнородных пород и встречного переноса компонентов при диффузивных процессах. Скарнирование в зонах встречных диффузий выражено метасоматическим замещением как гранитоидов, так и карбонатных пород. Наряду с биметасоматическими скарнами нередко встречаются так называемые контактово-инфильтрационные вольфрамоносные скарны. Их возникновение связано с прохождением насыщенных компонентами растворов через гранитоиды или известняки и поступлением их в другую химически разнородную среду, прежде всего через разрывные нарушения в карбонатные породы. Указанные гео-

| Промышленный тип | Рудовмещающие структуры | Морфологические особенности рудных тел и способы отработки месторождений | Текстурные особенности руд |
|------------------|---|---|--|
| Силикатный | Трещинные системы в местах сопряжения зон повышенной трещиноватости, в поверхностных структурных несогласиях, в эндо- и экзоконтактных частях и надкупальных зонах интрузивов | Минерализованные зоны, жилы, реже штокверковые залежи. Глубина распространения оруденения достигает сотен метров. Разработка подземным способом | Руды вкрапленные, полосчатые, брекчиевые. Размер выделений вольфрамита от 1 до 10 см, касситерита от 0,1 до 1,5 см |

| Масштабы месторождений | Типовые месторождения |
|--------------------------|--|
| Мелкие, средние, крупные | Олово - вольфрамовая формация. Иллингтас, Трудовое (СССР); месторождения районов Корнуэлл (Великобритания) |

химические ситуации обусловили возникновение скарново-рудных тел не только на контакте интрузивов гранитоидов с осадочными отложениями, но и внутри массивов изверженных пород, а также в терригенных толщах (рис. 25). Скарновый тип месторождений вольфрама обладает тройственной формационной принадлежностью (см. табл. 16).

Месторождения скарнового типа олово-вольфрамовой формации тяготеют к районам геантиклинальных сводовых поднятий в складчатых областях. В более локальном отношении оруденение контролируется пликативными и дизъюнктивными нарушениями, контактами литологически разнородных пород и т. д. При этом важную роль играют зоны повышенной трещиноватости и пористости близ контактов гранитоидов и вмещающих их пород. Для этого типа оруденения наиболее характерны контактовые биметасоматические скарновые залежи, в меньшей мере — межпластовые и секущие скарново-рудные тела.

Месторождения скарнового типа молибден-вольфрамовой формации приурочены к зонам линейных структур тектоно-магмати-

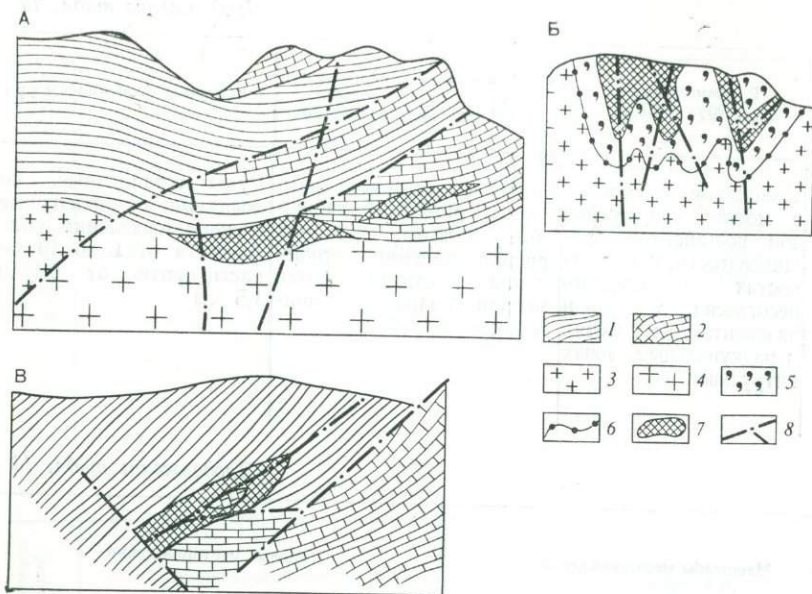


Рис. 25. Схематические геологические разрезы вольфрамовых месторождений скарнового типа (составлены по материалам В. Д. Отрощенко, 1977 г.).

А — месторождение Майхура, контактное рудное тело в биметасоматических скарнах; Б — месторождение Чорух-Дайрон, рудные тела в инфильтрационных скарнах; В — месторождение Муштон, межпластовое рудное тело в инфильтрационных скарнах. 1 — сланцы; 2 — известняки; 3 — граниты; 4 — гранодиориты; 5 — альбитизация; 6 — граница фациальных переходов пород; 7 — вольфрамоносные скарны; 8 — тектонические нарушения

ческой активизации ранее консолидированных участков земной коры. Промышленные скопления руд наблюдаются в основном в широких экзоконтактовых ореолах трещинных интрузивов разного состава (от субщелочных лейкократовых гранитов до сиенитов и монзонитов), значительно реже непосредственно на контактах интрузивов или внутри последних. Скарново-рудные залежи данного типа редко представлены биметасоматическими или контакто-инфильтрационными образованиями. Обычно это инфильтрационные пластообразные, сложные межпластовые и секущие жильные скарновые тела, приуроченные к зонам трещиноватости и разрывным нарушениям на границах литологически разнородных пород.

Месторождения скарнового типа сульфидно-вольфрамовой формации тяготеют к посторогенным поясам континентальных вулканитов и парагенетически связаны с небольшими малоглубинными интрузивами субвулканических пород весьма пестрого состава: от диоритов и диорит-сиенитов до гранодиорит-порфиров и плагио-порфиров. Скарновые залежи такого типа отличаются выдержанностью и компактностью, высоким содержанием металла в рудах.

В обобщенном виде морфология рудных тел месторождений скарнового типа для всех вольфрамородных формаций контроли-

руется контактными поверхностями интрузивов гранитоидов, контурами карбонатных пород, складчатыми и разрывными нарушениями. Наибольшее распространение имеют пласто-, кармано- и линзообразные скарново-рудные залежи. Вдоль контактов апофиз интрузивов и даек или на продолжении вмещающих их трещин часто наблюдаются жилы. Размеры скарново-рудных тел составляют по простиранию от нескольких десятков метров до первых километров, мощность их варьирует от 0,5 до 50 м, глубина распространения оруденения достигает 1000 м. Месторождения разрабатываются открытым и подземным способами.

Процесс рудообразования длительный и часто многостадийный, минеральные парагенезисы обычно накладываются один на другой. Главную промышленную ценность оруденения представляет шеелит, иногда совместно с молибденитом или касситеритом. Нередко попутными компонентами являются сульфиды меди, минералы висмута, плавиковый шпат. Отложение раннего шеелита совпадает с завершающим этапом скарнового процесса, но основная его масса образуется в ходе кварц-полевошпатового метасоматоза и грейзенизации. Размеры зерен шеелита от долей миллиметра до 10—15 мм.

Руды обычно массивные, брекчиевые, прожилковые и вкрапленные. Содержание трехокси вольфрама (в %) 2,5, молибдена 1,5, свинца и цинка 5, меди 3. Извлечение трехокси вольфрама из руд в концентрат составляет 75—80, а молибдена 70—90 %. Масштабы оруденения мелкие до весьма крупных. На долю месторождений скарнового типа приходится более половины известных мировых запасов трехокси вольфрама.

Скарновые месторождения, входя в состав единого промышленного типа, отличаются некоторыми особенностями в рамках каждой из указанных выше вольфрамородных формаций. Эти особенности можно проследить при более детальном рассмотрении типовых месторождений вольфрама той или иной формации.

Месторождение Ингичке относится к скарновому типу олововольфрамовой формации. Месторождение приурочено к юго-восточному контакту крупного гранитоидного интрузива с осадочно-метаморфической толщей полеозойского возраста, представленной сланцами, песчаниками, роговиками, доломитами, известняками (рис. 26). Интрузив имеет сложное многофазовое строение: к первой фазе относятся граниты-граносиениты, ко второй — гранодиориты и граниты, к третьей — лейкократовые и аплитовидные граниты. Дайковый комплекс состоит из лампрофиров, гранодиорит-гранит-порфиров, кварцевых порфиров.

Согласно данным В. Д. Отрощенко [28], основные скарново-рудные залежи месторождения приурочены к контакту биотитовых и лейкократовых гранитов с верхнесилурийскими карбонатсодержащими породами и прослеживаются почти непрерывной полосой с северо-востока на юго-запад. Эти залежи наиболее мощные и выдержанные; форма их преимущественно пластообразная, реже линзовидная, корыто- и карманообразная. Контакты скарнов с мрам-

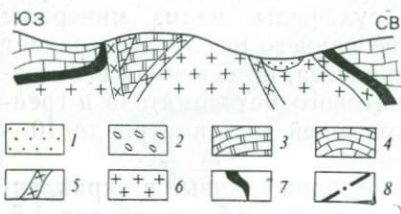
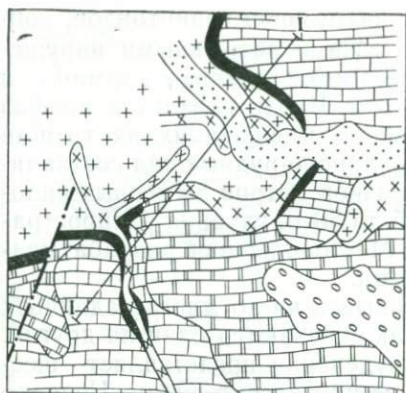


Рис. 26. Схема расположения скарново-рудных тел месторождения Ингичке (составлена по материалам А. В. Миловского, 1963 г.).

1 — аллювиальные отложения; 2 — конгломераты и песчаники; 3 — доломиты; 4 — мраморы; 5 — лейкократовые граниты; 6 — адамеллиты; 7 — вольфрамоносные скарны; 8 — тектонические нарушения

морам извилистые, с гранитами прямолинейные. В строении скарновых тел проявляется определенная зональность, обусловившая их наиболее типичный разрез: гранит, пироксен-плагноклазовая порода, пироксен, гранат, волластонит, шеелит, мрамор. Контактные рудные тела составляют около 90 % всех скарновых образований, известных на месторождении.

Секущие рудные тела, как и контактовые залежи, часто имеют значительную протяженность, однако мощность их не выдержана. Формирование секущих тел во многом определяют трещины контракции и сбросово-сдвиговые разломы, по которым происходило поступление постмагматических минерализованных растворов в породы кровли. Трещины контракции в гранитоидах и разломы в перекрывающих породах имеют в основном северо-восточное и северо-западное простирание и крутое падение. При этом по нарушениям северо-восточного направления внедрялись дайки лампрофиров, а северо-западного — лейкократовых гранитов. С последними в основном связаны секущие скарново-рудные тела. Наибольшая мощность рудоносных скарнов установлена в местах сопряжения контактовых залежей и секущих жильных тел (рис. 27). Межпластовые и межформационные скарновые тела на месторождении встречаются редко, мощность их не превышает 0,5 м. Промышленная ценность таких тел незначительна.

Процесс формирования месторождения был длительным и состоял из следующих этапов: магматического, пневматолит-гидротермального и гипергенного. Основное скарнирование происходило путем метасоматического замещения мраморизованных известня-

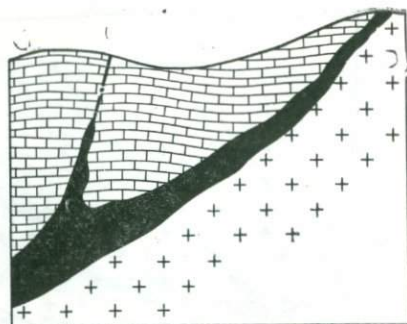


Рис. 27. Обобщенная схема сопряжения контактовых и секущих скарновых тел на месторождении Ингичке.

1 — мраморы; 2 — биотитовые граниты; 3 — вольфрамоносные скарны; 4 — тектонические нарушения



ков, в меньшей мере — прослоев роговиков, апофиз и даек гранитов и лампрофиров. Скарновый и рудный процессы развивались в различной физико-химической обстановке. Завершение скарнового и начало рудного процесса характеризовались повышенной концентрацией натрия и кремния в растворах, а также обогащением их вольфрамом и другими рудными элементами. Основное количество шеелита отлагалось после формирования скарнов в небольшой промежуток времени в начале пневматолит-гидротермального этапа. При этом главная масса шеелита образована в результате замещения кальцита и выполнения интерстиций в минералах скарнов. Последующее отложение сульфидов железа, мышьяка, цинка и других металлов сопровождалось окварцеванием и кальцитизацией пород.

Распределение шеелита в рудах месторождений крайне неравномерное, однако в строении контактовых рудных тел отмечается некоторая зональность: содержание шеелита и сульфидов в рудах по направлению от лежащего к висячему боку рудных тел увеличивается в среднем в 1,4 раза. В плане наиболее высокие содержания шеелита тяготеют к участкам сгущения рудораспределяющих трещин. В зонах окисления шеелит полностью замещен тунгститом.

Месторождение Пайн-Крик расположено между Скалистыми горами и Сьерра-Невадой, как и месторождение Ингичке, относится к скарновому типу олово-вольфрамовой формации. Район месторождения сложен кварцитами, кристаллическими сланцами и мраморизованными известняками, прорванными гранитами. Оруденение приурочено к контакту интрузива с карбонатными отложениями. Рудовмещающий скарн состоит из граната, диоксида, геденбергита, кварца, флюорита, апатита.

Рудные тела месторождения мощностью 1,5—1,8 м приурочены к пластам известняков и имеют длину по простиранию 150—300 м, распространяясь на глубину до 400 м. На месторождении установлено несколько стадий минерализации: после образования гранат-диоксидовых скарнов произошли тектонические подвижки,

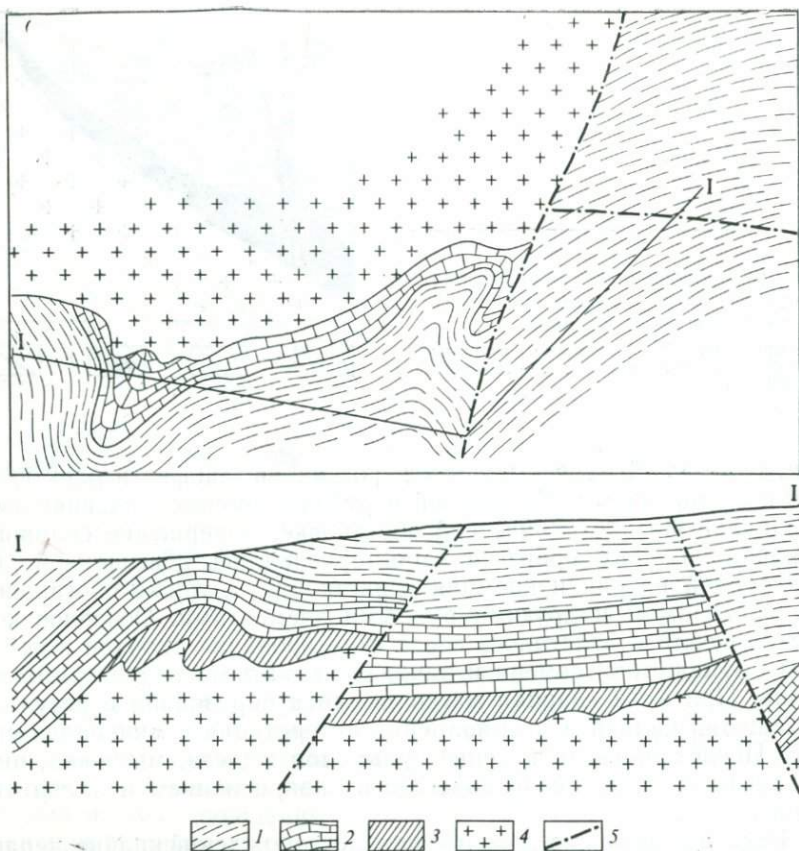


Рис. 28. Схема геологического строения Южной контактовой зоны Койташского месторождения (составлена по материалам Г. М. Заморина, 1979 г.).

1 — роговики, сланцы, конгломераты; 2 — известняки; 3 — кварцево-сланцевые роговики; 4 — гранитоиды, граниты; 5 — тектонические нарушения

сопровождавшиеся образованием многочисленных трещин, выполненных полевошпат-везувиановыми скарнами. Содержание триоксида вольфрама в руде меняется от 0,5 до 1,5 %. Запасы металла оцениваются в пределах 10 тыс. т.

Койташское месторождение относится к скарновому типу молибден-вольфрамовой формации. Район месторождения расположен в восточной части Нуратинской структурно-формационной зоны в области экзоконтакта крупного интрузива гранитоидов с осадочными породами (рис. 28). Интрузив сложен среднезернистыми порфировидными биотит-роговообманковыми адамелитами, мелкозернистыми лейкократовыми гранитами, дайками аплитов, микродиоритов и гранит-порфиров. Осадочная толща представлена карбонатными, алеврито-сланцевыми, песчанистыми конгломератовыми породами средне- и позднекаменноугольного возраста.

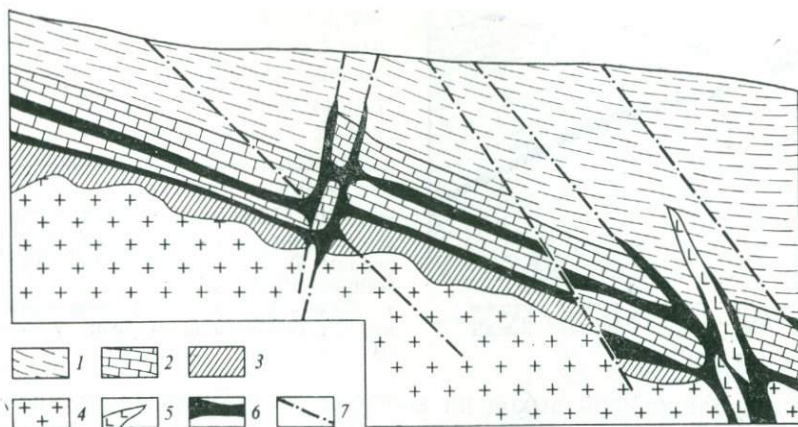


Рис. 29. Схематический разрез Восточного участка Койташского месторождения (составлен по материалам Г. М. Заморина, 1979 г.).

1 — перекрывающие роговики; 2 — известняки; 3 — подстилающие роговики; 4 — гранитоиды; 5 — дайки спессартинов; 6 — межпластовые скарново-рудные тела; 7 — тектонические нарушения

Основными структурами локализации оруденения служат участки пересечения зоны субмеридиональных разрывов (выполненных дайками среднего и основного состава) с контактовой поверхностью гранитоидов и осадочных пород. Промышленное оруденение размещено в Южной контактовой зоне месторождения. Для зоны контакта мощностью до 100 м характерно развитие метаморфизованных пород. Скарново-рудные тела образуют контактовые ленты с инфильтрационными внутрислоевыми апофизами по падению известняков, локальные пережимы обусловлены смещением пород по пологим надвигам (рис. 29). Интенсивность оруденения возрастает на участках дробления скарнов, связанного с секущими сколами и мелкой складчатостью.

По минералогическим особенностям рудоносных скарнов и характеру распределения оруденения в них на месторождении выделено шесть разновидностей руды. Из рудных минералов наиболее широко распространены шеелит и молибденит, реже встречаются пирит, халькопирит и пирротин. Из нерудных минералов установлены пироксен, кварц, гранат, пренит. Распределение вольфрамовой и молибденовой минерализаций весьма неравномерно. Основная масса шеелита наблюдается в виде мелких зерен в пироксеновых и пироксен-гранатовых скарнах, реже встречаются крупные гнездообразные и прожилковые выделения.

Месторождение Санг-Донг — одно из крупнейших месторождений скарнового типа молибден-вольфрамовой формации — приурочено к окраине Окчхонского наложенного прогиба на территории Южной Кореи. Особенность этого месторождения заключается в том, что скарново-рудные тела формировались здесь не на контакте изверженных и карбонатных пород, а внутри осадочной

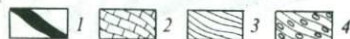
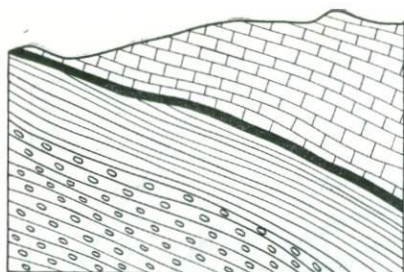


Рис. 30. Поперечный разрез месторождения Санг-Донг (составлен по материалам Ф. И. Вольфсона и А. В. Дружинина, 1982 г.).

1 — главное рудное тело; 2 — известняки; 3 — мергели, песчаники и роговики; 4 — кварциты

толщи. Ближайший выход на поверхность интрузивов гранит-порфиров наблюдается в четырех километрах к востоку от месторождения. По Ф. И. Вольфсону и А. В. Дружинину [3], оруденение расположено среди мергелей, песчаников и роговиков кембрийского возраста на контакте с перекрывающими их известняками ордовика. Рудоносные скарны развивались в зоне межформационного дробления, залегающей согласно с вмещающими породами (рис. 30).

Скарново-рудные тела северо-восточного простирания моноклинально падают к юго-востоку под углом $15-30^\circ$, имеют плитообразную, реже линзовидную форму. Главная скарновая залежь сложена диопсид-гранатовой породой с шеелитом, флюоритом и кварцем, на которую наложено кварц-вольфрамит-висмутное оруденение. Залежь мощностью 4—5 м прослежена по простиранию на 1,5 км, по падению на 300 м. Содержание трехоксида вольфрама в рудах в среднем составляет 0,78 %, висмута 0,046 % и молибдена 0,02 %. Запасы трехоксида вольфрама оцениваются в 200 тыс. т.

Формирование месторождения происходило в две стадии: скарновую и более позднюю молибден-шеелитовую, возраст оруденения определен как позднемереловой. Ф. И. Вольфсон и А. В. Дружинин [3] предполагают, что месторождение Санг-Донг связано общностью магматического очага с гранит-порфирами, внедрившимися в период позднеюрской — позднемереловой активизации территории.

Лермонтовское месторождение скарнового типа сульфидно-вольфрамовой формации приурочено к области сочленения Сихотэ-Алинской мезозойской и Восточно-Азиатской полеозойской областей складчатости в пределах Бикинской структурно-формационной зоны. Вольфрамовое оруденение парагенетически связано с раннемереловым интрузивным магматизмом. Месторождение размещается в юго-восточном крыле крупной Шивкинской брахиантиклинали северо-восточного простирания. По данным Н. А. Настича [24], крылья брахиантиклинальной складки сложены каменноугольными, пермскими и частично верхнеюрско-нижнемереловыми осадочными породами. Брахиантиклиналь разбита на блоки разломами различного направления, оказавшими значительное влияние на размещение и форму интрузивных тел.

Основную рудоконтролирующую роль играют раннемеловые интрузивы, сложенные преимущественно биотитовыми гранитами и гранодиоритами хунгарийского интрузивного комплекса, для которого характерны повышенные содержания глинозема, значительно реже — щелочей. С раннемеловыми интрузивами тесно связаны мощные ореолы контактового метаморфизма, которые в сочетании с соответствующей геохимической специализацией и благоприятной вмещающей средой явились решающим фактором формирования промышленного оруденения.

Рудоносные скарны образовались непосредственно в экзоконтактной части интрузивов, главным образом за счет замещения известняков с прослоями кварцевых и слюдисто-кварцевых роговиков, а также ороговикованных спилитов и туфогенных пород. Эндоскарновые зоны в гранитоидах практически отсутствуют. Наиболее интенсивное вольфрамовое оруденение наблюдается на контакте с интрузивными телами, по мере удаления от них оно ослабевает и почти полностью затухает в 70—80 м от контакта. Рудные тела представлены контактово-метасоматическими залежами неправильной формы (рис. 31).

Среди первичных руд месторождения выделены три основные минеральные ассоциации: шеелит-сульфидно-пироксеновая, шеелит-амфибол-кварц-сульфидная и шеелит-апатит-слюдисто-кварцевая, пространственное положение и минеральный состав которых определяются близостью к контакту с интрузивными телами. Минеральный состав руд весьма разнообразен: из рудных минералов наиболее широко распространены пирротин (10—30%), шеелит (3—60%), сульфиды железа, цинка, меди и мышьяка (20—40%). Нерудные минералы представлены кварцем (10—70%), мусковитом (до 20%), диопсидом, геденбергитом, фторапатитом, биотитом, хлоритом и кальцитом. Шеелит образует неравномерные гнездовые скопления и вкрапленность в рудах. Зерна шеелита обычно изометричны, иногда встречаются дипирамидальные кристаллы размером от долей миллиметра до 10—15 мм.

Месторождение Чен-Чан сульфидно-вольфрамовой формации

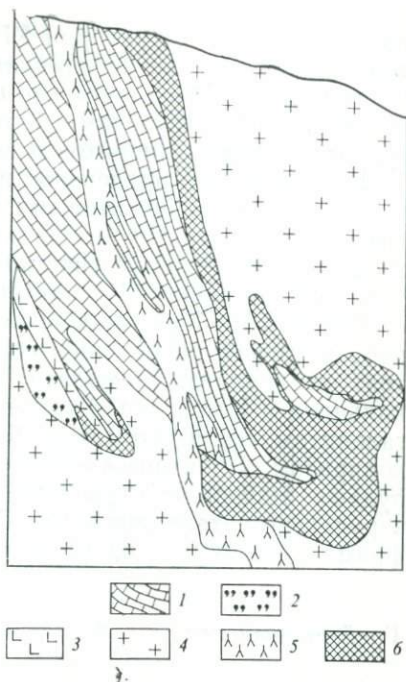


Рис. 31. Схематический разрез северо-западной рудной залежи Лермонтовского месторождения.

1 — известняки; 2 — роговики; 3 — спилиты; 4 — гранодиориты; 5 — андезитово-базальтовые порфириты; 6 — рудное тело

расположено на территории КНР в провинции Цзянси. Район месторождения сложен песчаниками, сланцами и мраморизованными известняками каменноугольно-пермского возраста. Осадочная толща прорвана интрузивами биотитовых гранитов, а также дайками гранит-порфиров, диоритов и пегматитов.

Вольфрамовое оруденение приурочено к скарнам в известняках у их контакта с биотитовыми гранитами [31]. Всего на месторождении установлено около 20 скарновых тел, локализованных на трех самостоятельных участках. На основном из них (Восточном участке) выявлено 14 пологопадающих скарновых тел площадью от 100 до 10 000 м² каждое; мощность тел меняется от 3 до 7 м, а протяженность по падению составляет 100 м и более. Скарны состоят из граната, тремолита, диопсида, полевого шпата, кварца, кальцита и флюорита. Рудные минералы представлены шеелитом, галенитом, сфалеритом, молибденитом, пирротинном, пиритом, халькопиритом. Практическое значение имеют только первые четыре рудных минерала; корреляционная связь между их содержаниями в рудах не устанавливается. Среднее содержание трехоксида вольфрама в рудах 0,5—0,6 %, молибдена 0,03 %.

Грейзеновый тип

Вольфрамовые месторождения грейзенового промышленного типа имеют сравнительно ограниченную распространенность и наиболее характерны для олово-вольфрамовой формации, в меньшей мере — для молибден-вольфрамовой и практически отсутствуют в составе сульфидно-вольфрамовой формации. Особенность грейзенового типа оруденения — тесная пространственная и генетическая связь с интрузивами кислых и ультракислых лейкократовых гранитов, в пределах которых возникают различные по минеральному составу рудоносные грейзены. Указанные интрузивы обычно формируются в относительно жестких блоках срединных массивов, в активизированных зонах геоантиклинальных поднятий ранней консолидации.

Грейзены приурочены, как правило, к апикальным участкам интрузивов. Сопровождающие их жилы и штокверки развиваются как непосредственно в гранитах, так и в кровле вмещающих пород. Рассеянные прожилки в породах кровли часто наблюдаются на расстоянии до 500 м от грейзеновых зон, что может служить индикатором скрытого на глубине грейзенового оруденения. К числу рудовмещающих структур относятся сближенные контракционные трещины скола и отрыва в кровле интрузивов гранитоидов, реже в надкупольных экзоконтактных зонах.

Морфология грейзеновых залежей и сопровождающих их жилково-жилных образований определяется формой куполов интрузивов, характером контактов с вмещающими породами и наличием апофиз. Обычно рудные тела имеют неправильную, иногда овальную или линейно вытянутую форму. Глубина рас-

пространения оруденения — от первых десятков метров до 300 м. Постмагматическая минерализация четко подразделяется на до-рудную (полевошпатовые метасоматиты), рудную (слюдисто-кварцевые и кварцевые образования) и пострудную (кварц-карбонатные, карбонатные и цеолитовые прожилки). Наибольшую промышленную ценность оруденения представляют вольфрамит и касситерит (или молибденит), попутные компоненты — тантал, ниобий, минералы висмута, сульфиды меди, свинца и цинка.

Руды массивные, прожилковые, вкрапленные. Вольфрамит, касситерит и молибденит часто образуют спорадическую вкрапленность. Размеры выделений вольфрамита от сотых долей миллиметра до 50 мм. Содержание трехоксида вольфрама в рудах до 2 %, молибдена 0,03—0,30 % и олова доли процента. Извлечение этих металлов из руд составляет соответственно 65—70, 75—85 и до 50 %. Масштабы оруденения мелкие до средних.

Спокойнинское месторождение относится к грейзеновому типу олово-вольфрамовой формации. Район месторождения сложен осадочно-метаморфическими породами среднего палеозоя, прорванными небольшими интрузивами лейкократовых гранитов мезозойского возраста. Осадочно-метаморфические породы собраны в антиклинальную складку северо-западного простирания, осложненную многочисленными нарушениями. К одному из нарушений приурочена апикальная часть куполовидного выступа Хангилайского гранитного интрузива. Выступ интрузива на поверхности имеет изометричную форму, углы падения его контактов на востоке и юго-востоке 20—25°, на юге и севере 35—40°. Линия контакта осложнена многочисленными апофизами гранитов. Наличие ксенолитов метаморфизованных пород в апикальной части гранитного купола свидетельствует о небольшом эрозионном срезе. Выпуклая часть интрузива представлена мелко- и среднезернистыми разновидностями гранитов, нижние горизонты интрузива — крупнозернистыми микроклинизированными гранитами с мусковитом.

На месторождении проявлены два типа оруденения: 1) вольфрамоносные грейзенизированные мусковитовые граниты и грейзены, 2) кварцевые жилы и прожилки с вольфрамитом. Наибольшее промышленное значение имеет первый тип оруденения. Повышенные содержания трехоксида вольфрама приурочены к полого-залегающим пластообразным залежам (рис. 32). Мощность рудных залежей меняется от 1 до 30 м, в центральной части месторождения мощность вольфрамоносных грейзенов достигает 90 м.

Месторождение формировалось в три стадии [37]. Первая стадия привела к ранней альбитизации гранитов и не сопровождалась вольфрамовым оруденением. Вторая стадия связана с интенсивной грейзенизацией апикальной части интрузивного тела и преобразованием гранитов в кварц-мусковитовую породу с топазом, флюоритом и висмутином. В третью стадию сформировались кварцевые жилы и прожилки с вольфрамитом. Главные минералы руд месторождения — вольфрамит, мусковит, кварц и флюорит; второстепенные — касситерит, пирротин, халькопирит, висмутин, сфа-

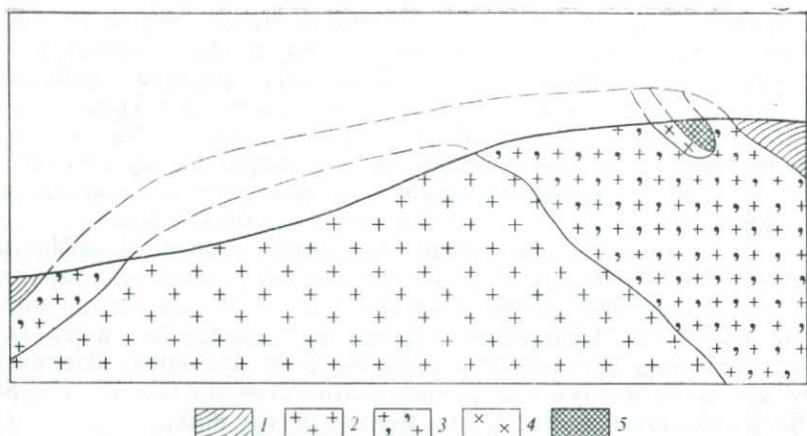


Рис. 32. Схематический разрез Спокойнинского месторождения (составлен по материалам А. А. Ситнина, 1960 г.).

1 — метаморфизованные сланцы; 2 — альбитизированные грейзенизированные граниты; 3 — вольфрамоносные интенсивно грейзенизированные граниты; 4 — грейзен полосчатый; 5 — кварцевое штокообразное тело

лерит, шеелит, апатит, турмалин и циркон. Вольфрамит тесно ассоциирует с кварцем и слюдой, образуя с последней сложные агрегаты.

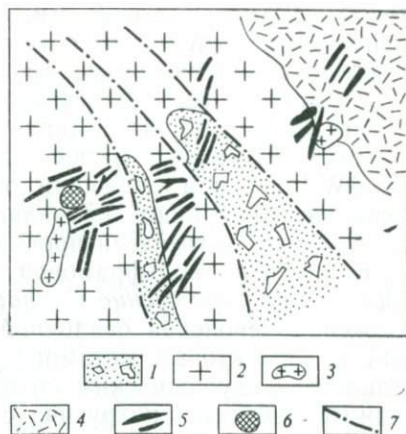
К грейзеновому типу олово-вольфрамовой формации относится месторождение *Букит-Туманг*, расположенное близ пос. Риа в Индонезии. На месторождении наблюдается серия сближенных кварц-касситерит-вольфрамитовых жил в грейзенизированных гранитах. Жилы прослежены по простиранию на 50 м и более, мощность их меняется от 5 до 50 см, угол падения 80—85°. Руды месторождения вкрапленные, из рудных минералов наиболее распространены вольфрамит, касситерит, арсенопирит и пирит.

Калгутинское месторождение относится к наиболее изученному в Горном Алтае грейзеновому типу молибден-вольфрамовой формации. Район месторождения сложен протерозойскими и палеозойскими породами, собранными в крупные складки и нарушенными разломами. К глубинным субширотным разломам приурочены рудоносные интрузивы биотитовых гранитов. Молибден-вольфрамовое оруденение представлено жильной зоной, где наряду с кварцево-рудными жилами встречаются дайки микрогранитов, кварцевых порфиров и аплитов (рис. 33).

Рудоносная зона тяготеет к разлому северо-восточного простирания и расположена в восточной части Калгутинского гранитного массива в его экзоконтакте [6]. По особенностям минерального состава выделено пять типов кварцевых жил: вольфрамовые, молибден-вольфрамовые, висмут-вольфрамовые, висмут-молибден-вольфрамовые и комплексные редкометалльные. Кроме указанных типов жил, особо выделены кварц-мусковитовые грейзены, окварцованные и грейзенизированные породы. Среди грейзенов наблю-

Рис. 33. Схема геологического строения Калгутинского молибден-вольфрамового месторождения (составлена по материалам В. Б. Дергачева, 1981 г.).

1 — четвертичные отложения; 2 — порфировидные биотитовые граниты; 3 — микрограниты, кварцевые порфиры; 4 — порфиры; 5 — рудные жилы; 6 — кварц-мусковитовые грейзены «молибденового штока»; 7 — тектонические нарушения



даются тонкозернистые разности с вкрапленностью молибденита, вольфрамита и халькопирита, образующие овальное штокообразное тело (так называемый «молибденовый шток»). Средне- и крупнозернистые разности с молибденитом, гюбнеритом, шеелитом, сульфидами меди и железа приурочены к оторочкам кварцевых жил. Окварцованные и грейзенизированные породы с прожилково-вкрапленным оруденением развиты в основном в местах сближенного расположения кварцево-рудных жил (рис. 34).

Руды месторождения имеют весьма сложный состав. Из жильных минералов наиболее широко распространены кварц, мусковит, ортоклаз, альбит, флюорит, серицит, апатит, турмалин; из рудных минералов — вольфрамит, молибденит, пирит, пирротин, халькопирит. Наибольшую промышленную ценность имеет вольфрамит, который встречен в виде пластинчатых кристаллов размером от

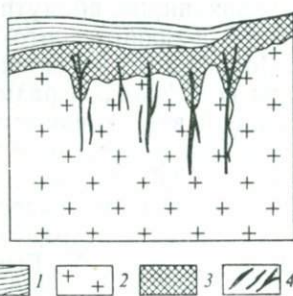
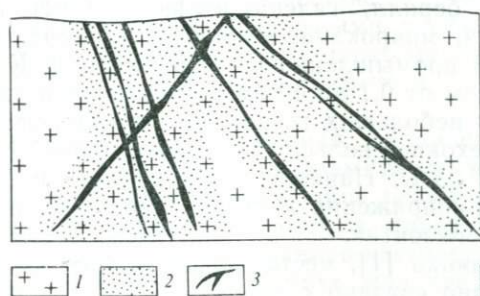


Рис. 34. Схематический геологический разрез одного из участков Калгутинского месторождения.

1 — микрограниты; 2 — грейзенизированные зоны с прожилково-вкрапленным оруденением; 3 — кварцево-рудные жилы

Рис. 35. Схема расположения рудных тел месторождения Сихуашань (составлена по материалам Д. В. Рундквиста, 1971 г.).

1 — филлиты; 2 — порфировидные граниты; 3 — рудоносные грейзены; 4 — кварцево-рудные жилы

долей миллиметра до 70 мм. Молибденит представлен тонкими чешуйками размером от сотых долей миллиметра до 3 мм, часто образует скопления размером до 30 мм в поперечнике.

По данным В. Б. Дергачева и др. [6], зональность Калгутинского месторождения характеризуется следующей направленностью: $W \rightarrow W$, $Mo \rightarrow$ комплексное редкометальное оруденение $\rightarrow W$, $Mo \rightarrow W$ (Mo) при движении от экзоконтакта в глубь интрузива гранитов. С глубиной проявляется тенденция к увеличению объема грейзенов и грейзенизированных пород.

К молибден-вольфрамовой формации относится грейзеново-жильное месторождение *Сихуашань* в КНР. Район месторождения сложен додевонской осадочной толщей, претерпевшей региональный и контактовый метаморфизм. Магматические породы представлены Сихуашаньским интрузивом порфириовидных биотитовых гранитов. Контакт интрузива с вмещающими породами четко выражен, угол падения плоскости контакта меняется от 30 до 70°. В гранитах установлены системы трещин северо-восточного простирания с падением на северо-запад и северо-западного простирания с падением на северо-восток и юго-запад. В подавляющем большинстве случаев кварцево-рудные жилы выполняют трещины северо-восточного направления.

Рудные тела месторождения представлены жилами, залегающими в гранитах и реже в метаморфических породах, а также грейзеновыми зонами (рис. 35). Жилы обычно расположены кулисообразно, местами образуя отдельные скопления. Мощность жил меняется от 0,1 до 0,5 м, длина по простиранию 100—600 м, по падению 150—250 м. Форма жил обусловлена первоначальной структурой трещин.

Минеральный состав руд характеризуется повышенным содержанием кварца (90 % и более). Из рудных минералов присутствуют вольфрамит, молибденит, касситерит, шеелит, пирит, арсенопирит, халькопирит, висмутин, берилл, галенит и сфалерит. Из нерудных — флюорит, ортоклаз, микроклин, мусковит, кальцит, топаз. Вольфрамит — основной промышленно ценный минерал. Кристаллы вольфрамита размером от 0,1 до 40 см встречаются в виде рассеянной вкрапленности и небольших гнезд как в жилах, так и в грейзенах. Содержание трехоксида вольфрама в рудах 0,8—1,2 %, молибдена 0,027 %, олова 0,03 %. Наиболее обогащены полезными компонентами участки сопряжения жил, их деформирования и расщепления на верхних горизонтах.

По мнению А. М. Быбочника [1], месторождение Сихуашань генетически и пространственно связано с гранитами яньшанского тектоно-магматического цикла (мел — палеоген), которые содержат повышенные количества рассеянного вольфрама, молибдена и олова. Существенное значение в размещении кварцево-рудных жил и грейзенов и локализации промышленного оруденения имели история развития рудного поля, условия становления рудоносного интрузива гранитов и литологический состав рудовмещающих толщ.

Кварцевый тип

Кварцевый промышленный тип вольфрамовых месторождений имеет двойственную формационную принадлежность, что обуславливает некоторые особенности морфологии рудных тел, текстуры и минерального состава руд (см. табл. 7). По характеру проявления основных промышленно ценных рудных минералов кварцевый тип месторождений целесообразно подразделить на два подтипа: вольфрамитовый и шеелитовый.

Вольфрамитовый подтип оруденения относится к олово-вольфрамовой (кварц-касситеритовой) формации. По региональному геолого-структурному положению и характеру связи с магматизмом месторождения вольфрамитового подтипа олово-вольфрамовой формации сходны с оловянными месторождениям кварцевого типа. Оруденение, как правило, приурочено к ядрам и крыльям антиклинальных складок, которые осложнены тектоническими нарушениями, контролирующими пространственное положение рудоносных интрузивов. Рудовмещающими структурами служат трещинные системы в надкупольных экзоконтактовых зонах пород различного состава, а также в эндоконтактовых частях гранитных интрузивов. Рудные тела представлены главным образом кварцево-рудными жилами, минерализованными зонами, реже штокверковыми залежами.

Наибольшую промышленную значимость имеют рудные тела в надинтрузивных зонах скрытых на глубине гранитных куполов; вертикальная протяженность таких тел достигает 600 м. Ниже апикальной поверхности гранитного купола жилы с промышленным оруденением прослеживаются не более чем до 200 м. Протяженность жильных рудных тел по простиранию весьма изменчива: от 20 м до 2 км и более; мощность 0,2—1,5 м. Метасоматические образования, сопровождающие кварцево-рудные жилы, выражены маломощными околожильными грейзенами слюдисто-кварцевого состава. Разработка месторождений обычно осуществляется подземным способом, реже открытым. Масштабы оруденения мелкие до крупных.

Текстура руд массивная, вкрапленная, реже брекчиевидная. Размер кристаллов вольфрамита меняется от 3 до 50 см, касситерита от 0,05 до 1 см, крайне редко достигает 15 см. В процессе рудообразования установлена определенная последовательность: ранняя продуктивная кварц-касситерит-вольфрамитовая ассоциация на верхних горизонтах жил среди пород кровли сменяется кварц-сульфидной ассоциацией, а затем кварц-флюорит-карбонатной минерализацией. Характерная особенность продуктивной ассоциации — близкое время образования вольфрамита и касситерита при их некотором пространственном разобщении. Соотношение этих металлов в рудах меняется; содержание трехоксида вольфрама достигает 1 % и олова 0,8 %; извлечение их в концентрат составляет соответственно 75—80 и 80—85 %.

Район *месторождения Светлое* сложен интенсивно ороговикованной песчано-сланцевой толщей нижнего и среднего триаса, прорванной дайками лампрофиров, гранит-порфиров и аплитовидных гранитов. Месторождение приурочено к северо-западному крылу антиклинальной складки и расположено непосредственно в надкупольной зоне скрытого на глубине (порядка 350—400 м) гранитного штока позднемелового возраста. Основными рудоконтролирующими и рудовмещающими структурами служат системы трещин северо-западного направления, секущие вмещающие осадочные породы вкрест простирания.

Основные скопления руд связаны с кварцево-рудными жилами, выполняющими трещины северо-западного направления. Жилы сравнительно близко расположены одна от другой и в целом образуют жильную зону значительной протяженности. В осадочных породах на границах рудных тел часто наблюдается слюдистая оторочка с резкими контактами. Рудоносные кварцевые жилы преобладают в центральной части месторождения, жилы кварц-полевошпат-топазового состава — на северо-западном фланге.

Вещественный состав руд довольно прост: кварц (до 90%), полево шпат, топаз, мусковит, флюорит, альбит, кальцит, сфен. Наиболее распространенные рудные минералы — арсенопирит, вольфрамит, касситерит. Вольфрамит в основном встречается в жилах выполнения крупнозернистого кварца, крупные кристаллы и скопления вольфрамита размещаются обычно перпендикулярно контактам жил. В вольфрамите установлены повышенные содержания олова, тантала и ниобия. Кристаллы и скопления касситерита (большей частью крупные и средние) ассоциируют с выделениями вольфрамита, арсенопирита и мусковита. С глубиной в рудных телах отмечается заметное снижение интенсивности оловянного оруденения и некоторое повышение содержания вольфрама, тантала и ниобия. Общая глубина распространения оруденения — первые сотни метров.

В районе *месторождения Шанпин* широко развиты додевонские метаморфические породы и девонские конгломератовидные песчаники, залегающие несогласно на подстилающих отложениях. Магматические образования на площади месторождения представлены мощной дайкой гранит-порфиров широтного простирания. Длина дайки более 1 км, мощность 25—35 м.

Месторождение образовано зоной близко расположенных кварц-полевошпат-вольфрамитовых жил широтного направления с падением на север под крутым углом. Длина зоны около 1,5 км, мощность меняется от 80 до 170 м, глубина распространения более 400 м. В пределах зоны установлено несколько сотен кварцево-рудных жил мощностью от первых сантиметров до 0,8 м и длиной до 100 м и более. Жилы расположены кулисообразно, местами пересекаются, что обуславливает весьма сложное строение месторождения. Оруденение локализуется в трещинах разрыва и скола, призальбандовая часть жил обычно грейзенизирована.

Главные жильные минералы — кварц и полево шпат (95 %

жильной массы). С глубиной соотношение этих минералов резко меняется в пользу кварца, на глубине 400 м полевой шпат представляет собой лишь минералогическую редкость. Основной рудообразующий минерал вольфрамит представлен отдельными крупными вкрапленниками и гнездообразными скоплениями в кварцевой и полевошпатовой массе. Вольфрамит ассоциирует с касситеритом, молибденитом, халькопиритом, шеелитом, висмутином, бериллом, циннвальдитом. Содержание трехоксида вольфрама в рудах 0,8—1 %. Касситерит обычно рассеян в виде мелкой вкрапленности в грейзенизированных оторочках кварц-полевошпатовых жил, содержание олова в рудах 0,02—0,07 %. С глубиной содержание трехоксида вольфрама, олова и висмута в рудах снижается при одновременном увеличении количества молибдена и меди в 1,5—2 раза. Руды месторождения вкрапленные, реже брекчиевидные, массивные, полосчатые.

Шеелитовый подтип оруденения относится к молибден-вольфрамовой формации. Шеелитовые месторождения, как и месторождения других типов указанной формации, тяготеют к единым линейным тектоническим структурам длительного развития, представляющим собой линейменты высокого ранга в структурах земной коры. Наиболее интересен поздний период развития этих линейментов, с которым непосредственно связан продуктивный магматизм и ассоциирующие с ним проявления гипогенной минерализации молибден-вольфрамовой формации.

По мнению Ф. Р. Апельцина [2], в условиях совпадения активизации консолидированных структур с завершающим этапом формирования вулканогенных поясов продуктивный магматизм молибден-вольфрамовой формации является типично внегеосинклинальным, существенно гранитоидным, отличающимся малоглубинными фациями и тесной ассоциацией с близкими по составу вулканитами. Такого же мнения придерживается А. А. Фролов [40], считая, что месторождения молибден-вольфрамовой формации связаны с зонами тектоно-магматической активизации платформ и областей завершённой складчатости, т. е. формирование месторождений обусловлено внегеосинклинальными процессами. При этом месторождения приурочены к интрузивам калиевых лейкократовых гранитов, а для тектонических движений, предшествующих их образованию, не характерны контрастные смещения блоков земной коры.

Месторождения шеелитового подтипа размещены обычно в надинтрузивных зонах среди осадочно-метаморфизованных пород песчано-сланцевого состава. Рудовмещающими структурами служат сложные системы трещин скола и отрыва, рудные тела представлены главным образом штокверковыми залежами неправильной формы и различных размеров, весьма редко — минерализованными зонами и жилами. Кварцевые прожилки штокверков лишены грейзеновых оторочек, но при размещении рудных тел в гнейсах и амфиболитах наблюдаются зоны ослюднения, парагенетически связанные с шеелитовой минерализацией. Глубина рас-

пространения оруденения достигает 1000 м и более. Разработка месторождений осуществляется открытым, реже подземным способами.

Для шеелитового промышленного подтипа характерна многоэтапность минералообразования, что обуславливает комплексный состав руд: кварц, мусковит, пирит, шеелит, халькопирит, молибденит, сульфиды свинца и цинка, полевои шпат, флюорит, топаз, карбонаты. Ведущие рудные минералы — шеелит и молибденит. Наиболее ранняя рудная минерализация проявлена кварц-молибденовыми прожилками, в которых молибденит наблюдается в крупнокристаллических формах или мелкочешуйчатых выделениях в ассоциации с пиритом, рутилом и кубанитом. Шеелитовая минерализация развивалась вслед за молибденовой, ассоциируя с висмутином, флюоритом и топазом. Завершала процесс рудообразования свинцово-цинковая минерализация в ассоциации с минералами меди и висмута. В целом для шеелитового подтипа характерно преобладание в рудах трехокси вольфрама при увеличении относительной роли молибдена на глубоких горизонтах по мере приближения к рудогенерирующим источникам.

Текстура руд в основном прожилковая, реже брекчиевая и вкрапленная. Содержание трехокси вольфрама в рудах 0,15—0,5 % и молибдена 0,03—0,1 %, извлечение их в концентрат составляет соответственно 85—90 % и до 90 %. Масштабы месторождений — от мелких до весьма крупных.

Одно из типичных месторождений шеелитового подтипа вольфрамового оруденения — *Богутинское месторождение* на юге Казахстана. Месторождение приурочено к краевой северо-восточной части Заилийского антиклинория широтного простираия, сформировавшегося в каледонскую складчатость. Интрузивные породы района месторождения представлены разновидностями гранитного ряда: габбро и серпентиниты → габбро-диориты, гранодиориты и граниты → габбро, габбродиабазы, лейкократовые граниты и граносениты.

В северо-западной части месторождения осадочные породы раннепалеозойского возраста прорваны дайкообразным Богутинским интрузивом мелкозернистых лейкократовых гранитов (рис. 36). Интрузив гранитов тяготеет к зоне повышенной трещиноватости северо-восточного направления, его контакты с вмещающими породами имеют общее падение к северо-западу. В краевых частях и мелких дайках-апофизах граниты сменяются аплитовидными разностями и гранит-порфирами.

Гранитный интрузив и месторождение размещаются вдоль нарушенного крыла крупной горизонтальной флексуры. Вмещающие породы в основном круто падают к северу. Наложенная на складчатые структуры зона повышенной трещиноватости контролирует положение, ориентировку и морфологические особенности кварцево-рудных жил и прожилков. В целом система трещин имеет северо-восточное простираие с крутым падением к северо-западу. Трещины короткие, границы их неровные и извилистые, смещения

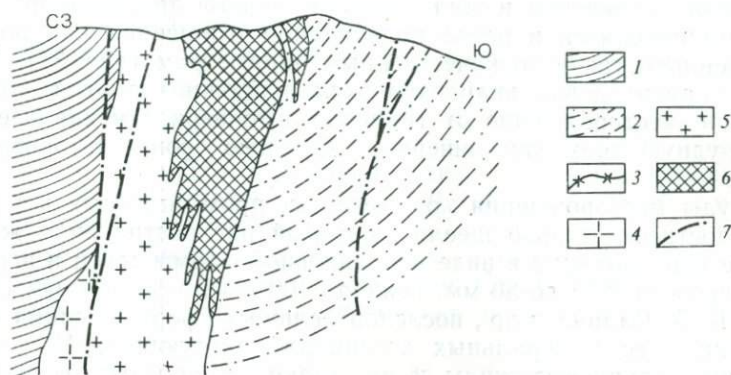
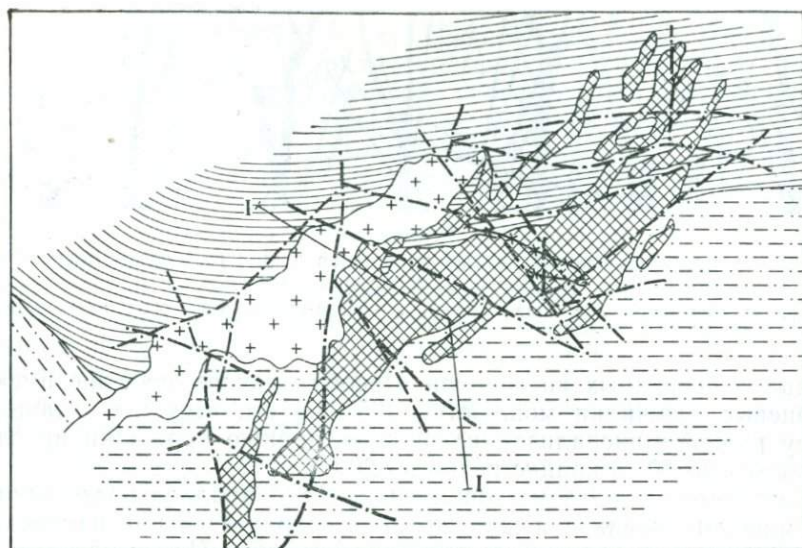


Рис. 36. Схема геологического строения Богутинского месторождения (составлена по материалам Б. А. Саллина, И. Б. Соколовой, 1974 г.).

1 — алевролиты, сланцы и известняки с линзами песчаников; 2 — песчаники с прослоями алевролитов и линзами гравелитов; 3 — дайки лампрофиров; 4 — крупно- и среднезернистые граниты; 5 — мелкозернистые граниты; 6 — рудные тела; 7 — тектонические нарушения

по ним не установлены. Наличие нескольких генераций кварцевых жил свидетельствует о многократных внутрирудных тектонических подвижках.

Месторождение представляет собой кварцево-прожилковую зону (штокверк), не имеющую четких границ. Общее падение зоны к северо-западу под углом $75-85^\circ$. Со стороны висячего бока зона в центральной части ограничена интрузивом гранитоидов, а на флангах — глинисто-сланцевой толщей (см. рис. 36), на юго-востоке — пачкой песчаников с прослоями алевролитов и гравелитов. Внутреннее строение зоны достаточно сложное из-за чередования



Рис. 37. Схема расположения рудных прожилков и жил штокверка Богутинского месторождения. По Г. Н. Щербе, Б. А. Салину, 1974 г.

1 — серицит-кварц-хлоритовые метасоматиты; 2 — кварц-хлорит-серицитовые метасоматиты; 3 — кварцевые жилы и прожилки

рудных и безрудных интервалов. Преобладающее значение имеют кварцевые прожилки мощностью 0,5—5,0 см, несущие главную массу рудной минерализации. По простиранию прожилки прослеживаются до 30 м, крайне редко до 200 м.

Характерная черта месторождения — субпараллельность основной массы прожилков и жил, которая сохраняется при изменении их простирания в различных частях штокверка. Наряду с главной системой прожилков и жил имеются таковые других направлений, но они находятся в резко подчиненном отношении как по количественным, так и по качественным параметрам (рис. 37). Линейность ориентировки кварцевых жил и прожилков отличает Богутинское месторождение от типичных штокверков и характеризует его рудную зону как линейную жильную зону штокверкового типа.

Руды месторождения комплексные, промышленных концентраций достигает только шеелит, который распространен в жильной массе неравномерно в виде неправильной формы зерен и агрегатов размером от 0,05 до 50 мм, реже до 100 мм в поперечнике. По данным Б. А. Салина и др., последовательность формирования рудной залежи и ее минеральных ассоциаций следующая: 1) дорудная стадия — кварцевые жилы и прожилки с пиритом и хлоритом; 2) рудная стадия — кварц-полевошпатовые жилы и прожилки с шеелитом, флюоритом, пиритом и другими минералами; кварцевые прожилки с шеелитом, молибденитом и пиритом; мусковит-кварцевые прожилки и жилы с шеелитом, вольфрамитом, молибденитом и пиритом; кварцевые прожилки с пиритом, галенитом, сфалеритом и халькопиритом; 3) послерудная стадия — цеолитовые и кальцитовые прожилки. Все это свидетельствует о многоэтапном, пульсационном характере рудообразования и формирования месторождения.

Силикатный тип

Силикатный промышленный тип вольфрамового оруденения относится к олово-вольфрамовой (силикатно-касситеритовой) формации. В подавляющем большинстве случаев месторождения силикатного типа собственно оловянные; минералы вольфрама, как

правило, подчинены касситериту. Позиция месторождений со значительной примесью минералов вольфрама в оловянных рудах имеет своеобразную специфическую особенность. Такие месторождения распространены в областях устойчивого геоантиклинально-го развития с выходами или неглубоким залеганием древних осадочно-метаморфических пород и интрузивных массивов.

Рудовмещающими структурами служат трещинные системы в местах сопряжения зон повышенной трещиноватости, в поверхностях структурного несогласия, в эндо- и экзоконтактных частях и надкупольных зонах интрузивов гранитоидов. Рудные тела представлены минерализованными зонами и жилами, реже штоковыми залежами. Руды вкрапленные, полосчатые, брекчиевые. Глубина распространения оруденения достигает сотен метров, разработка месторождений осуществляется подземным способом.

Руды месторождений силикатного типа имеют довольно сложный минеральный состав и отличаются многостадийностью формирования. Для ранних минеральных ассоциаций характерны топаз, флюорит, турмалин, слюды и магнетит. Промежуточные ассоциации — существенно кварц-хлоритовые и кварц-флюорит-карбонатные с большим количеством сульфидов меди, свинца и цинка, а также с касситеритом, стanniном, минералами висмута, сурьмы и ртути. Основные рудообразующие минералы — касситерит и вольфрамит; размеры их кристаллов и агрегатов меняются от 0,1 до 10 см. Из нерудных минералов наиболее широко развиты турмалин, кварц, хлорит. Содержание олова в рудах 0,4—3 %, трехокси вольфрама до 0,5 %, извлечение этих металлов в концентрат составляет соответственно 70—75 и 60—65 %. Масштабы месторождений мелкие до крупных.

Олово-вольфрамовые месторождения силикатного типа широко распространены в районах Средней Азии, Северо-Востока и Дальнего Востока СССР, в странах Юго-Восточной Азии и на юге Великобритании.

Месторождение Трудовое — одно из характерных месторождений силикатного типа — расположено на территории Киргизской ССР и приурочено к крупной горст-антиклинали восточно-северо-восточного простирания, сложенной вулканогенно-терригенно-осадочными отложениями позднесилурийского возраста. С севера и юга антиклиналь ограничена глубинными разломами; в ее пределах развиты серии продольных, поперечных и диагональных нарушений, вдоль которых внедрялись интрузивы позднепалеозойского возраста и осуществлялась локализация рудных залежей (рис. 38). По данным геофизических исследований, на глубине более 400 м осадочно-метаморфические породы полностью ассимилированы гранитоидами единого крупного интрузива многофазового формирования. Основные рудоносные участки формировались при наличии известковистых экранов (рис. 39).

В зависимости от особенностей рудолокализирующих структур (систем трещин), возникших среди различных вмещающих пород, на месторождении наблюдаются жилы сложного строения, минера-

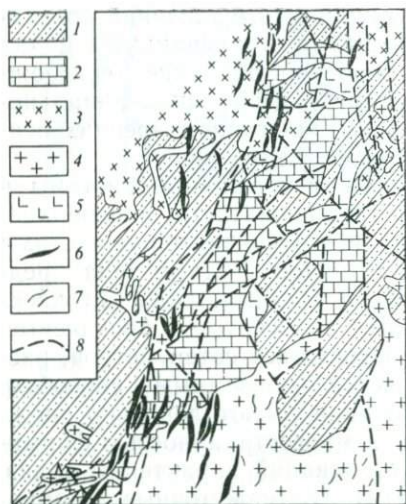


Рис. 38. Схема геологического строения месторождения Трудовое. По А. Б. Павловскому, 1976 г.

1 — вулканогенно-терригенные породы; 2 — карбонатные породы; 3 — биотитовые граниты заключительной фазы; 4 — биотит-микроклиновые граниты главной фазы; 5 — габбро-диабазы и габбро-диориты догранитные; 6 — рудные тела; 7 — кварц-турмалиновые прожилки; 8 — тектонические нарушения

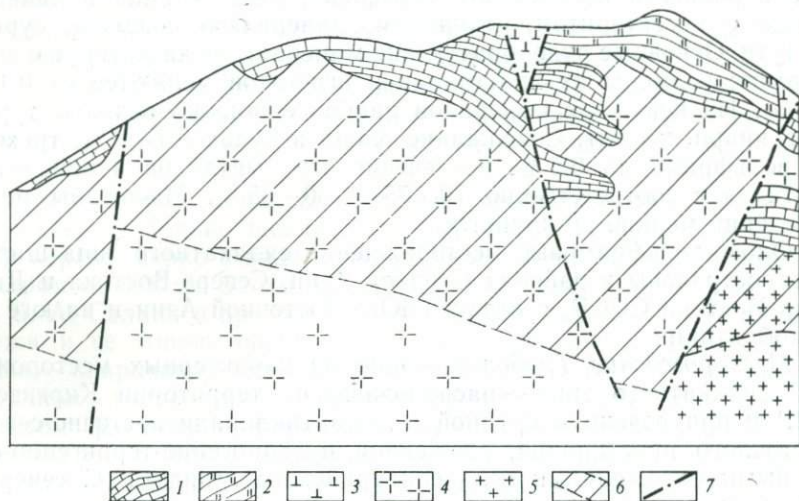


Рис. 39. Схема продольного разреза одного из участков месторождения Трудовое (составлена по материалам Н. И. Дорошенко, 1980 г.).

1 — мраморы; 2 — роговики; 3 — пироксениты; 4 — порфиридные граниты; 5 — среднезернистые граниты; 6 — зона предполагаемого распространения олово-вольфрамового оруденения; 7 — тектонические нарушения

лизованные залежи и неправильные метасоматические тела. Секущие рудные жилы выполняют сколовые трещины северо-восточного, субмеридионального и близширотного простираний, а также трещины отрыва северо-западного простирания. Жилы размещены в гранитных интрузивах, в них сосредоточена основная оловянная и вольфрамовая минерализация. Контактные рудные залежи на

общую оценку масштабов оруденения существенного влияния не оказывают.

На месторождении выделяют две основные разновидности руд — кварц-вольфрамит-касситеритовую и турмалин-флюорит-касситеритовую [5], сформированные в несколько стадий минерализации, отражающих изменение химического состава растворов в процессе рудообразования.

Кварц-вольфрамит-касситеритовые руды с примесью минералов тантала и ниобия обычно развиты в простых жилах выполнения, залегающих в апикальных частях биотитовых гранитов или на некотором удалении от них среди вмещающих осадочных пород. Эти руды встречаются также в многостадийных трещинных жилах сложного строения в виде разобщенных раздробленных линз и крупных обломков кварцевых образований с вольфрамитом и касситеритом. Размеры кристаллов и агрегатов вольфрамита достигают 8 см, касситерита — 1,5 см. В составе жил также отмечены молибденит и висмутин, а из нерудных минералов — кварц, полевой шпат, топаз, флюорит, турмалин и мусковит. Текстура руд гнездово-вкрапленная, структура порфиоровидная и неравномерно-зернистая.

Турмалин-флюорит-касситеритовые руды широко развиты в рудных телах различной морфологии, с ними связаны основные запасы олова. В зависимости от состава вмещающих пород в рудах меняется соотношение основных жильных минералов. В секущих жилах в гранитных интрузивах и биотитовых роговиках преимущественно локализуются руды кварц-турмалин-касситеритового состава с незначительным количеством халькопирита, пирротина, пирита, арсенопирита. Руды, расположенные на контактах гранитных апофиз с мраморизованными известняками, обильно обогащены арсенопиритом, пирротинном, пиритом, халькопиритом. Преобладающим минералом в этих рудах является флюорит. Размеры кристаллов и агрегатов касситерита достигают 1 см и более, вольфрамит практически отсутствует. В отдельных случаях наблюдаются зерна шеелита, образование которых, по-видимому, связано с растворением вольфрамита ранних минеральных ассоциаций и переотложением в иной минеральной форме. Текстура руд прожилково-вкрапленная, пятнистая и брекчиевая; структура аллоτριоморфнозернистая.

Вольфрамоносные россыпи

Россыпные месторождения вольфрама широко распространены во всех вольфрамоносных районах мира. Однако большинство из них к настоящему времени в значительной мере отработано или имеет ограниченные запасы. Россыпи вольфрама формируются в основном за счет разрушения коренных месторождений грейзенового, кварцевого и силикатного типов, реже скарнового типа. Минералы вольфрама в россыпях представлены шеелитом и вольфрамитом часто в ассоциации с касситеритом и золотом.

По условиям образования и характеру рыхлых отложений выделяют элювиальные, делювиальные, делювиально-аллювиальные и аллювиальные россыпи. Первые две разновидности россыпей промышленного значения не имеют из-за низкого содержания триоксида вольфрама или весьма ограниченных запасов. Делювиально-аллювиальные и аллювиальные россыпи характеризуются более высокими содержаниями металла и лучшей отсортированностью материала, но они также имеют небольшие запасы полезных компонентов. Ограниченные масштабы россыпных месторождений обусловлены тем, что кристаллы вольфрамита и гюбнерита имеют пластинчатую форму и очень хрупки. При переносе водотоками минералы быстро разрушаются и переизмельчаются, переходя в неизвлекаемые шламовые формы.

Содержание вольфрамита в разрабатываемых россыпных месторождениях СССР менялось от 0,3 до 20 кг/м³, в зарубежных странах — от 0,5 до первых килограммов. На долю россыпных месторождений приходится не более 2 % всей мировой добычи триоксида вольфрама.

ГЛАВА 5

Промышленные типы месторождений молибдена

Молибден встречается в рудах месторождений многих генетических типов, образовавшихся в различные металлогенетические эпохи. Однако промышленные скопления молибденовых руд сосредоточены обычно в месторождениях трех рудных формаций: вольфрам-молибденовой, молибденовой и медно-молибденовой. В рудах месторождений других формаций содержание этого металла незначительно и лишь иногда его рассматривают как попутный полезный компонент. Основная часть (56 %) мировых запасов молибдена, разведанных к настоящему времени, заключена в рудах собственно молибденовых и вольфрам-молибденовых месторождений мезокайнозойского возраста. Около 30 % мировых запасов молибдена сосредоточено в рудах медно-молибденовых месторождений кайнозойского возраста [31].

Оруденение молибденовой и вольфрам-молибденовой формаций приурочено к зонам тектоно-магматической активизации на платформах и в областях завершённой складчатости. При этом собственно молибденовые месторождения генетически тесно связаны с гипабиссальными интрузивами биотит-роговообманковых гранитов, а месторождения вольфрам-молибденовой формации — с интрузивами калиевых лейкократовых гранитов. Медно-молибденовые месторождения тяготеют к геоантиклинальным поднятиям, сформировавшимся в орогенную стадию развития геосинклиналей.

Оруденение этого формационного типа ассоциирует с близповерхностными и гипабиссальными интрузивами пестрого состава (монциты, гранодиориты, граниты, диориты, сиениты и т. д.). Наиболее крупные месторождения молибдена располагаются в пределах складчатых областей Тихоокеанского и Средиземноморского поясов мезо-кайнозойской складчатости.

Исходя из особенностей геолого-структурного положения оруденения, горнотехнических условий разработки, различия в минеральном составе и технологических свойствах руд, неодинакового значения в балансе запасов и добычи молибдена, автором выделены следующие четыре промышленных типа молибденовородных месторождений: скарновый, грейзеновый, кварцевый и порфиновый (табл. 17).

Скарновый тип

Месторождения скарнового промышленного типа имеют двойственную формационную принадлежность, т. е. входят в состав как вольфрам-молибденовой (или молибден-вольфрамовой) формации, охарактеризованной ранее, так и молибденовой формации.

Скарновые месторождения молибденовой формации в нашей стране не известны, редко встречаются они и за рубежом. Данный тип месторождений характеризуется небольшими масштабами оруденения, но высокими содержаниями молибдена в рудах (до 0,3 %), что в ряде случаев делает их разработку выгодной.

Месторождение Азегур (Марокко) приурочено к одному из палеозойских блоков на северном склоне западной части Высокого Атласа [33]. Толща палеозойских образований сложена метаморфизованными сланцами и карбонатными породами и осложнена разрывными нарушениями, среди которых рудоконтролирующими служат разрывы меридионального и северо-восточного простираний. Зоны скарнов образовались в прослоях известняков под воздействием гранитов каменноугольного возраста. Наиболее интенсивно скарнообразование проявилось в ядре сжатой антиклинальной складки (рис. 40). Оруденение приурочено к скарнам, прослеживающимся вдоль контакта с гранитным интрузивом более чем на 1000 м при ширине 30 м. Основной рудный минерал — молибденит, попутные — шеелит и халькопирит. Содержание молибдена в рудах 0,20—0,25 %, трехокси вольфрама до 0,4 % и меди до 1,5 %.

По данным Ф. И. Вольфсона и А. В. Дружинина [3], молибденовое и вольфрамовое оруденение локализуется в крыльях складки на границе окварцованных и сканированных пород. Вкрапленные руды образуют на верхних горизонтах месторождения сложные линзообразные тела, прослеживающиеся по простиранию на 900 м. Изометричные в сечении участки образуют в пределах линз рудные столбы, которые круто склоняются на юг.

Массивные медные руды формируют крутопадающие столбообразные залежи со склонением на юг и север. Залежи локализуются как на крыльях синклинальной складки, так и в ее ядре. Главная

Промышленные типы молибденовых месторождений

| Рудная формация | Геолого-тектоническое положение | Характер магматизма |
|--------------------------------------|---|--|
| Вольфрам-молибденовая и молибденовая | <i>Вольфрам - молибденовая формация.</i> Зоны тектоно-магматической активизации ранее консолидированных складчатых областей и окраин платформ с общим воздыманием земной коры. Оруденение контролируется линейными сквозными нарушениями, с которыми тесно связаны вулканоплутонические комплексы длительно-го формирования | <i>Вольфрам - молибденовая формация.</i> Многофазные малоуглубинные интрузивы гранитоидов гранит-лейкократовой формации. Преобладают лейкократовые граниты крупно- и среднезернистой структуры, в краевых частях интрузивов развиты мелкозернистые порфиновые разности. Интрузивы прорваны дайками аплитов, микродиоритов, лампрофиров |
| | <i>Молибденовая формация.</i> Зоны тектоно-магматической активизации платформ и ранее консолидированных складчатых областей с развитием крупных наложенных впадин, выполненных молассовыми отложениями. Оруденение контролируется зонами повышенной трещиноватости, с которыми тесно связаны протяженные дайковые пояса | <i>Молибденовая формация.</i> Крупные интрузивы гипабиссальных гранитоидов; биотит-роговообманковые граниты прорваны дайками и штоками микродиоритов, лампрофиров, гранит-порфиров, трахиандезитов, липаритов, дацитов |
| Молибденовая | Аналогично положению месторождений скарнового и грейзенового типов молибденовой формации | Аналогичен характеру магматизма на месторождениях скарнового и грейзенового типов молибденовой формации |
| Медно-молибденовая | Геоантиклинальные поднятия, сформировавшиеся в орогенную стадию развития геосинклиналей; краевые части жестких блоков земной коры типа срединных массивов; зоны сочленения разновозрастных складчатых систем | Крупные интрузивы, сложенные монзонитами, гранодиоритами, гранитами, диоритами, сиенитами, габбро; небольшие штоки и дайки порфировых пород; андезиты, трахиандезиты, липариты, трахилипариты, дациты, базальты |

| Промышленный тип | Рудовмещающие структуры | Морфологические особенности рудных тел и способы отработки месторождений | Текстурные особенности руд |
|------------------|--|--|---|
| Скарновый | Сложные системы трещин скола и отрыва в приконтактных частях интрузивов гранитоидов и осадочных пород | Залежи пластообразной, линзообразной и более сложных форм, реже жилообразные. Глубина распространения оруденения 1000 м. Разработка открытым и подземным способами | Руды массивные, брекчиевые, прожилковые, вкрапленные |
| Грейзеновый | Сближенные контракционные трещины и отрывы в кровле интрузивов гранитоидов, иногда в надкупольных экзоконтактных зонах гранитных интрузивов | Штокверковые залежи, реже жилообразные формы. Глубина распространения оруденения 500 м и более. Разработка открытым способом | Руды прожилково-вкрапленные, прожилковые, вкрапленные, реже брекчиевые |
| Кварцевый | Сложные трещинные системы скола и отрыва в эндоконтактных зонах гранитных интрузивов, часто в надкупольных экзоконтактных зонах пород различного состава | Штокверковые залежи и жилы, реже брекчиевые тела. Глубина распространения оруденения 800 м. Разработка открытым способом | Руды прожилково-вкрапленные, прожилково-вкрапленные |
| Порфировый | Система трещин, оперяющих региональные разломы; эндо- и экзоконтактные зоны интрузивов порфировых пород; жерла вулканических аппаратов и тела взрывных брекчий | Штокверковообразные залежи неправильной формы. Глубина распространения оруденения 1000 м и более. Разработка открытым способом | Руды вкрапленные, прожилково-вкрапленные, реже брекчиевые; кристаллы молибденита идиоморфны по отношению к сульфидам меди и пириту, корродируются ими и часто включены в их выделения |

| Промышленый тип | Минеральный состав руд* | Качество и технологические свойства руд | Масштабы месторождений | Типовые месторождения |
|-----------------|--|---|---|---|
| Скарновый | Гранат, пироксен, эпидот, магнетит, кварц, молибденит, вольфрамит (шеелит), висмутин, флюорит, пирит, сульфиды меди | Содержание в рудах молибдена 0,02—0,3 %; WO ₃ — до 2%. Извлечение из руд в концентрат: молибдена 70—90 %; WO ₃ 75—80 % | Мелкие, средние, крупные, весьма крупные | <i>Вольфрам - молибденовая формация.</i> Тырныауз, Чорух-Дайрон (СССР), Хуанподи (КНР) <i>Молибденовая формация.</i> Янцзычжанцзы, Бейсуншумао (КНР); Азегур (Марокко) |
| Грейзеновый | Кварц, мусковит, полевые шпаты, флюорит, молибденит, вольфрамит, пирит, халькопирит, висмутин, магнетит, пирротин, сфалерит, галенит | Содержание в рудах молибдена 0,03—0,3 %, WO ₃ — до 2 %; Sn — доли процента. Извлечение из руд в концентрат: молибдена 75—85 %, WO ₃ 65—70 %, Sn — до 50 % | Мелкие, средние | <i>Вольфрам - молибденовая формация.</i> Акчатау, Караоба, Калгутинское (СССР); Сихуашань (КНР) <i>Молибденовая формация.</i> Жирекенское, Бугданское, Умальтинское и др. (СССР) |
| Кварцевый | Кварц, турмалин, хлорит, магнетит, молибденит, пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, висмутин | Содержание в рудах молибдена 0,1—0,4 %. Извлечение из руд в концентрат: молибдена 80—85 % | Мелкие, средние, крупные, весьма крупные | Клаймакс, Квеста, Гендерсон (США) |
| Порфировый | Кварц, ортоклаз, биотит, пирит, халькопирит, молибденит, серицит, сфалерит, галенит, магнетит, борнит, халькозин, блеклая руда, минералы группы каолина, карбонаты, сульфаты | Содержание в рудах молибдена 0,01—0,05 %; меди — до 1,5 %. Извлечение из руд в концентрат: молибдена 75—80 %; меди — до 70 % | Мелкие, средние, крупные, реже весьма крупные | Бингем, Моренси, Эсперанса (США); Лорнекс, Бренда (Канада); Эль-Теньенте (Чили); Каджаранское, Агаракское (СССР) |

* Шрифтом выделены главные минералы.

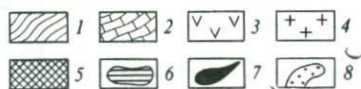
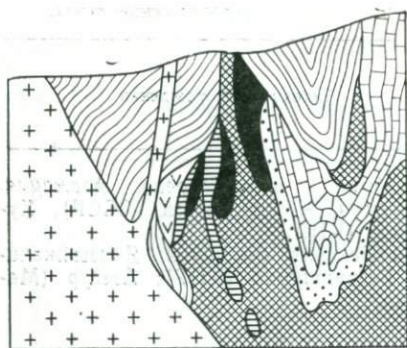


Рис. 40. Схематический геологический разрез месторождения Азегур (составлен по материалам Ф. И. Вольфсона и А. В. Дружинина, 1982 г.).

1 — сланцы; 2 — мраморизованные известняки; 3 — вулканогенные породы; 4 — граниты, гранит-порфиры; 5 — скарны; рудные тела: 6 — молибденовые, 7 — вольфрамовые, 8 — медные

особенность медной минерализации — приуроченность к контактам скарнов и мраморизованных известняков (см. рис. 40). Богатые медные руды установлены также на участках пересечения меридиональных и северо-восточных крутопадающих разрывных нарушений, западнее медные руды сменяются молибденовыми и вольфрамовыми.

Предполагается, что рудообразование происходило в три стадии. В первую стадию в карбонатных породах формировались скарны. Отложение молибденита и шеелита осуществлялось во вторую стадию, интенсивность их отложения обуславливалась тектоническими подвижками, происходившими в момент минерализации. Медное оруденение возникло в третью стадию, наложено на скарны и ранее образованные рудные минералы. В настоящее время месторождение Азегур полностью отработано.

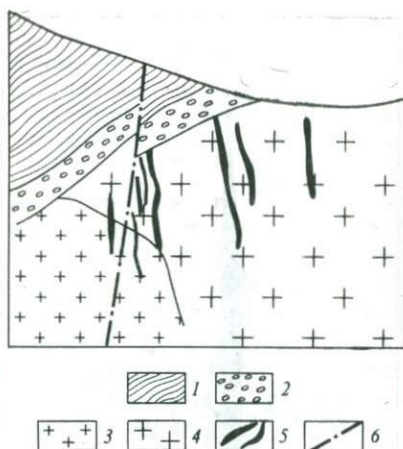
Грейзеновый тип

Месторождения грейзенового промышленного типа также имеют двойственную формационную принадлежность. Особенности месторождений вольфрам-молибденовой формации описаны ранее. Грейзеновый тип оруденения молибденовой формации представлен штокверковыми залежами и кварцевыми жилами с молибденитом, иногда вольфрамитом и пиритом, реже с висмутином. Промышленные скопления руд встречаются довольно часто, но по масштабам они относительно невелики.

Умальтинское месторождение грейзенового типа молибденовой формации расположено на восточной окраине Буреинского прогиба, в зоне его сочленения с одноименным антиклинорием. В районе месторождения широко развиты магматические породы мезозойского возраста, разбитые на многочисленные блоки разрывными нарушениями. Рудные тела месторождения залегают в основном в позднепалеозойских гранитах, перекрытых нижнеюрскими базаль-

Рис. 41. Схематический геологический разрез Умальтинского месторождения. По В. Т. Покалову, 1972 г.

1 — нижнеюрские песчаники; 2 — нижнеюрские базальные конгломераты; 3 — мезозойские аплитовидные граниты и гранит-порфиры; 4 — палеозойские порфирированные граниты; 5 — кварцево-рудные жилы; 6 — тектонические нарушения



ными конгломератами и песчаниками (рис. 41). Молибденовое оруденение контролируется зонами разлома северо-восточного простирания, а также разрывными нарушениями северо-западного направления. Наиболее интенсивное оруденение приурочено к местам пересечения указанных зон.

Формирование месторождения тесно связано с проявлениями мезозойского магматизма — крупными интрузивами гранитоидов, эффузивами и малыми интрузивными телами [33]. Крупные интрузивы сложены в основном биотитовыми и биотит-роговообманковыми гранитами и гранодиоритами. Эффузивные образования представлены андезитами, дацитами и липаритами, реже туфами, туфо-конгломератами и лавобрекчиями позднемелового возраста. Малые интрузивные тела (дайки и небольшие штоки) сложены гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами, микродиоритами и лампрофирами, прорывающими мезозойские гранитоиды. Во времени и пространстве молибденовое оруденение ассоциирует с порфировыми породами.

Рудные жилы месторождения оторочены интенсивно измененными вмещающими породами — кварц-мусковитовыми грейзенами, сильно окварцованными и серицитизированными гранитами (рис. 42). Многократное приоткрывание одних и тех же трещин и последовательное отложение в них минеральных ассоциаций разных стадий рудообразования привело не только к телескопированию минерализации, но и к возникновению вертикальной зональности (рис. 43). Так, на верхних горизонтах месторождения преимущественно распространен высокотемпературный крупнозернистый кварц первой генерации с крупночешуйчатым молибденитом и вольфрамитом. На средних горизонтах на кварц и молибденит первой генерации наложен мелкозернистый кварц с мелкочешуйчатым молибденитом второй генерации, здесь сосредоточены основные запасы месторождения. На глубоких горизонтах развито свинцово-цинковое оруденение в ассоциации с кварц-карбонатной и карбо-

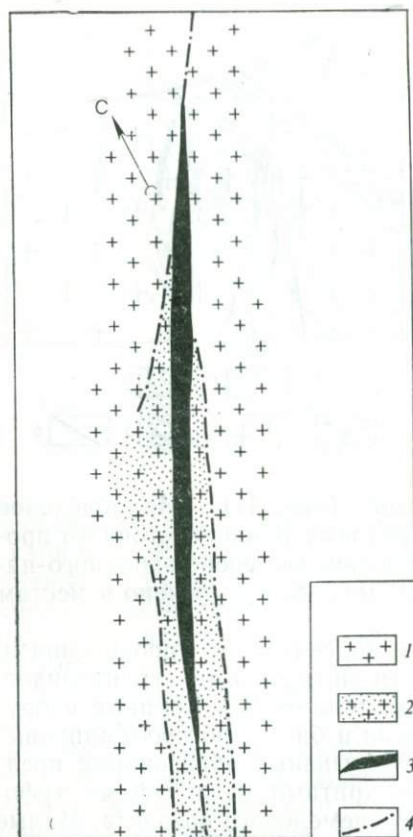


Рис. 42. Схема расположения одной из кварц-молибденитовых жил Умальтинского месторождения.

1 — среднезернистые биотитовые граниты; 2 — сильно окварцованные мелкозернистые граниты; 3 — кварц-молибденитовая жила; 4 — тектонические нарушения

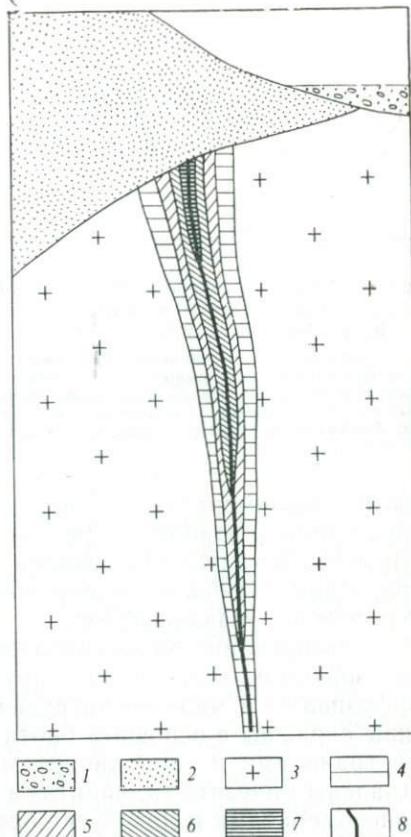


Рис. 43. Схема вертикальной зональности на Умальтинском месторождении. По В. Т. Покалову, 1972 г.

1 — четвертичные отложения; 2 — юрские песчаники; 3 — граниты палеозойского возраста; 4 — слабо измененные граниты; 5 — окварцованные и серицитизированные граниты; 6 — сильно окварцованные и серицитизированные граниты; 7 — кварц-молибденитовые жилы; 8 — кварц-молибденитовые жилы

натной минерализацией, содержание молибдена в рудах здесь заметно уменьшается. По мнению В. Т. Покалова [33], наблюдаемое на месторождении пространственное положение свинцово-цинковой минерализации относительно молибденовой обусловлено щелочными проявлениями гидротермального процесса рудоотложения.

Минеральный состав руд весьма прост. Жильные минералы представлены в основном кварцем нескольких генераций, в меньшей мере — кальцитом и флюоритом, иногда присутствуют небольшие включения округлой формы серицитизированных и окварцованных гранитов, а также остатки кристаллов полевых шпатов,

Из рудных минералов промышленную ценность имеет только молибденит, кроме него в жильной массе наблюдаются в незначительных количествах пирит, вольфрамит, халькопирит, арсенопирит, пирротин и марказит. Спектральным анализом в измененных гранитах обнаружены кобальт, никель и галлий (сотые доли процента).

Бугдаинское месторождение грейзенового типа также относится к молибденовой формации. Месторождение расположено в Восточном Забайкалье в пределах Кукульбейской антиклинальной структуры. Район месторождения сложен биотитовыми и биотит-амфиболовыми среднезернистыми гранитами палеозойского возраста, прорванными мелкими интрузивами гранитоидов и дайками аплитов, порфиров, фельзитов и лампрофиров. Структура месторождения определяется наличием на его площади разрывных нарушений различных направлений, представленных крупными зонами разломов и сопровождающими их участками интенсивной трещиноватости. К основной структуре месторождения — мощной зоне разлома субмеридионального направления — приурочены выходы многочисленных даек кварцевых порфиров, а также субвулканический шток гранит-порфиров, с которым генетически связаны молибденовое оруденение и гидротермальные изменения вмещающих гранитов, фиксирующие контуры месторождения.

Кроме основной зоны разлома, на площади месторождения выделяется менее мощная, но протяженная зона нарушений северо-западного направления. Она фиксируется повышенной трещиноватостью и участками гидротермальных изменений вмещающих пород. Значение северо-западной зоны определяется дополнительным дроблением и ослаблением вмещающих гранитов в месте пересечения ее с субмеридиональной зоной, что обусловило внедрение рудоносного штока гранит-порфиров и движение минерализованных растворов. По существу эти две зоны являются рудоконтролирующими структурами.

Молибденовое оруденение приурочено к кольцевой зоне измененных палеозойских гранитов, обрамляющей «ядро» интенсивно окварцованных гранитов, прорванных штоком позднеюрских гранит-порфиров (рис. 44). В кольцевой зоне граниты сильно серицитизированы и осветлены, в них развито прожилково-вкрапленное оруденение. Месторождение представляет собой штокверк овальной формы в плане и воронкообразной — в разрезе. Молибденит наблюдается в виде тонкодисперсных чешуек в кварцевых прожилках, а также развит в виде вкрапленности в серицитизированных гранитах.

В штокверке выделены три группы минеральных ассоциаций, объединяющие шесть стадий гипогенного минералообразования. К наиболее ранним минеральным образованиям относятся малочисленные кварц-магнетитовые прожилки первой стадии, приуроченные в основном к границе «ядра» окварцованных гранитов и кольцевой зоны серицитизации. В этих прожилках содержится незначительное количество молибденита и пирита.

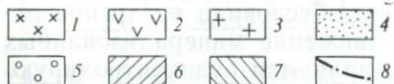
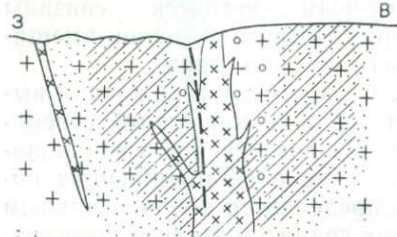
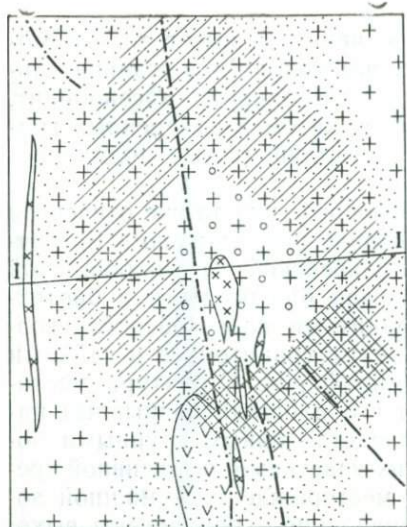


Рис. 44. Схема геологического строения Бугданского месторождения. По Б. С. Чернову, 1965 г.

1 — позднерюрские гранит-порфиры; 2 — кварцевые порфиры; 3 — биотитовые граниты палеозойского возраста; 4 — зона серицитизированных; 5 — «ядро» окварцевания; 6 — зона распространения молибденовой минерализации; 7 — зона распространения полиметаллической минерализации; 8 — тектонические нарушения

Во вторую группу минеральных ассоциаций входят кварц-молибденитовые прожилки, развитые в пределах кольцевой зоны серицитизированных гранитов. Прожилки пересекают на глубине шток гранит-порфиров и «ядро» окварцованных гранитов, а также ранние кварц-магнетитовые прожилки. С кварц-молибденитовыми прожилками связана по существу вся молибденовая минерализация, определяющая промышленную значимость месторождения.

Третья группа минеральных ассоциаций представлена прожилками кварц-пиритовой и галенит-сфалеритовой стадии минералообразования. Прожилки третьей группы наиболее распространены на юго-востоке месторождения, практического значения они не имеют.

Кварцевый тип

Молибденовые месторождения кварцевого типа обычно приурочены к зонам активизации тектоно-магматических процессов на платформах и в областях завершённой складчатости. Оруденение во времени и пространстве ассоциирует со штоками и дайками порфировых пород, а также с крупными интрузивами гипабиссальных биотит-роговообманковых гранитов, располагаясь в их эндо- и экзоконтактовых зонах.

Оруденение представлено в основном штокверками, реже жилами и брекчиевыми телами. Кварцевый тип месторождений имеет наибольшее промышленное значение среди других типов молибденовой формации в связи со значительными масштабами оруденения и возможностями разработки месторождений открытым способом.

Минеральный состав руд довольно прост: кварц, турмалин, хлорит, молибденит, пирит, реже галенит, сфалерит, халькопирит и висмутин, иногда наблюдаются высокие концентрации вольфрами-

та. Текстура руд прожилковая, вкрапленная и прожилково-вкрапленная. Молибденит — главный полезный компонент, в отдельных случаях возможна попутная добыча меди, присутствующие в рудах вольфрамит, галенит и сфалерит промышленного значения обычно не имеют. Содержание молибдена в рудах меняется от 0,1 до 0,4 %, извлечение его из руд в концентрат составляет 80—85 %.

Шахтаминское месторождение располагается в пределах одноименной структурно-металлогенической зоны Восточного Забайкалья, обрамляющей юго-восточную часть Борщовочного гранитного батолита. В геологическом строении площади месторождения принимают участие только изверженные породы поздней юры и четвертичные отложения. Месторождение размещено непосредственно в биотит-роговообманковых гранитах, пересеченных большим количеством крутопадающих даек северо-западного направления. На месторождении выявлено более ста рудных тел.

Рудные тела представлены в основном крутопадающими кварц-молибденитовыми и кварц-карбонатно-сульфидными жилами, сопровождающимися на отдельных интервалах минерализованными зонами. Морфология рудных тел довольно сложная, обычны ответвления, оперение и кулисообразное строение жил (рис. 45). Протяженность жил меняется от 50 до 700 м, мощность варьирует от нескольких сантиметров до 2 м. Минерализованные зоны отличаются от жил нерезкими границами и располагаются под острым углом с последним. Большинство рудных тел расположено параллельно друг другу на расстоянии 20—150 м.

По пространственной ориентировке рудных тел площадь месторождения отчетливо разграничивается на две части — южную и северную. Рудные тела южной части месторождения в основном ориентированы в широтном и субширотном направлениях, северной части — в субмеридиональном. Падение большинства рудных

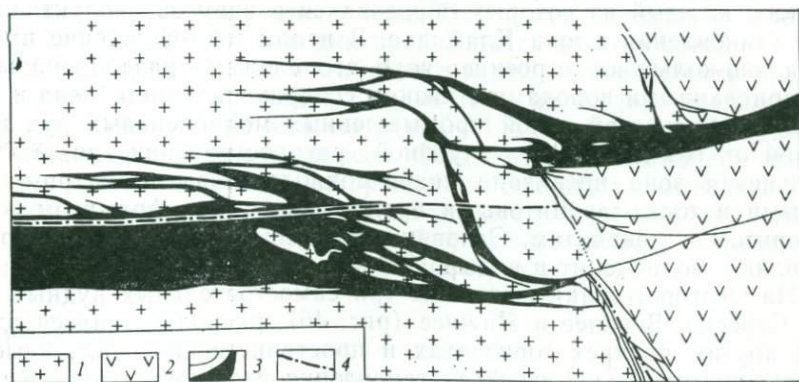


Рис. 45. Схема строения одной из жил Шахтаминского месторождения. По О. К. Кожевникову, 1954 г.

1 — граниты; 2 — лампрофиров; 3 — кварц-молибденитовая жила; 4 — тектонические нарушения

тел крутое (60—90°). Прожилковые зоны оруденелых гранитов сопровождают жилы, располагаясь вдоль зальбандов последних. Иногда эти зоны образуют самостоятельные участки, не имеющие промышленного значения.

Минеральный состав руд месторождения сложный, здесь выделено более 40 минералов. Наиболее распространенные жильные минералы — кварц, карбонаты, полевые шпаты, слюда и флюорит; рудные — молибденит, пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, антимонит, арсенопирит. Молибденит присутствует во всех рудных телах и отмечен в виде трех генераций: 1) крупночешуйчатые разности (3—10 мм), 2) мелко- и среднечешуйчатые (до 3 мм), 3) сплошные выделения молибденита вне ассоциации с кварцем. Вторая генерация молибденита преобладает и представляет наибольший практический интерес.

В процессе рудообразования выделены четыре стадии: кварц-молибденитовая, кварц-молибденит-пиритовая, кварц-карбонат-сульфидная и халцедон-карбонатная. Первые три стадии сыграли главную роль в формировании месторождения. Поступление рудоносных растворов носило четко выраженный пульсационный характер.

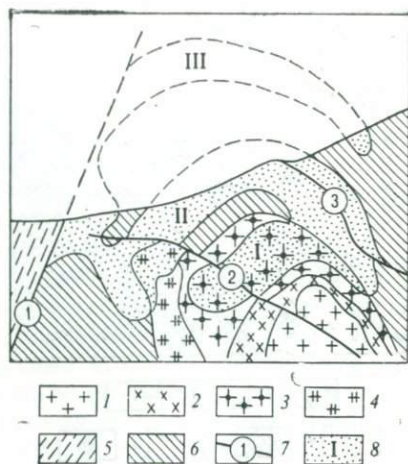
Месторождение Клаймакс (США) залегает в брекчированных докембрийских гранитах и гнейсах, в меньшей мере — в окварцованных и серицитизированных кристаллических сланцах. Молибденовая минерализация связана со сложным штоком риолитовых монзонит-порфиров эоценового возраста, внедрившихся вдоль сброса Москито и ассоциирующих со штоком даек среднетретичного возраста, развивавшихся со стороны лежащего бока указанного сброса.

Формирование штока монзонит-порфиров происходило в четыре фазы, которые сопровождались гидротермальной деятельностью. Оруденение сконцентрировано в трех обособленных штоках, каждый из которых образовался в одну из продуктивных фаз становления штока Клаймакс. В целом месторождение имеет зонально-кольцевое строение; ядро его сложено раздробленными окварцованными породами с низким содержанием молибдена и обрамлено кольцевой зоной промышленных молибденовых руд шириной от 100 до 300 м и глубиной распространения до 800 м. Кольцевая зона пронизана кварц-молибденитовыми, кварц-пиритовыми и топаз-серицитовыми прожилками с вольфрамитом, касситеритом и монацитом. Основную промышленную ценность представляют молибденит и вольфрамит.

На месторождении выделены три самостоятельных рудных тела: Сереско, Верхнее и Нижнее (рис. 46), располагающиеся одно под другим на трех горизонтах и пространственно связанные с интрузивами каждой из фаз становления сложного штока Клаймакс. Рудное тело Сереско в значительной степени эродировано, залегающее под ним рудное тело Верхнее имеет кольцевую или овальную форму с максимальной площадью сечения 810×1100 м². Основное количество молибденита (95—97 %) заключено в квар-

Рис. 46. Схематический геологический разрез месторождения Клаймакс (составлен по материалам С. Р. Уоллеса с некоторыми упрощениями).

Третичные порфирировые породы штока Клаймакс: 1 — порфирировидные граниты, 2 — аплит-порфиры, 3 — риолит-порфиры Центрального массива, 4 — риолит-порфиры Юго-Западного массива; 5 — палеозойские породы; 6 — докембрийские граниты и кристаллические сланцы; 7 — тектонические нарушения: 1 — разлом Москито, 2 — Южный сброс, 3 — Восточный сброс; 8 — рудные тела: I — Нижнее, II — Верхнее, III — Сереско



цевых прожилках мощностью от 0,1 до 2 см. Число их на 1 м (40—50 штук) увеличивается к всяческому боку рудного тела. В более поздних кварц-пирит-серпичитовых прожилках установлены высокие (до 3 %) концентрации пирита. Прожилки размещаются над собственно молибденовыми рудами и по их периферии. С участками проявления пирита совпадают участки развития вольфрамовой минерализации со средним содержанием триоксида вольфрама 0,06 %.

Основное различие между Верхним и Нижним рудными телами — разная степень развития вольфрамовой минерализации. Для Нижнего рудного тела характерны более высокие концентрации вольфрама, вольфрамоносная зона не только хорошо выражена над молибденовой и вокруг нее, но и опускается довольно глубоко внутрь самого рудного тела. Почти вся попутная добыча вольфрама на месторождении производится из этой зоны.

Среднее содержание молибдена в рудах месторождения 0,26 %, триоксида вольфрама 0,03 %. Кроме того, на месторождении установлены руды с содержанием менее 0,1 % молибдена, которые не учитываются в подсчете запасов. Общие запасы молибдена оцениваются в 940 млн. т. На месторождении ежегодно добывается 15—17 млн. т руды, из которой извлекается в концентрат около 24 тыс. т молибдена, т. е. около 45 % от всей добычи в развитых капиталистических и развивающихся странах.

Порфирировый тип

Месторождения порфирирового типа относятся к медно-молибденовой (или так называемой медно-порфирировой) формации и служат важнейшим источником добычи меди (свыше 50 %) и молибдена (около 30 %). В рудах порфирирового типа в качестве примесей содержатся рений, селен, теллур, висмут и другие полезные

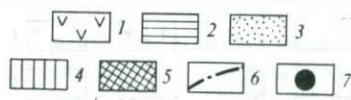
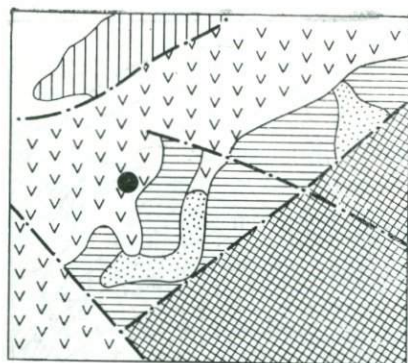


Рис. 47. Схема геолого-структурного положения рудного узла Эрдэнитуин-Обо (составлена по материалам И. Г. Павловой, 1971 г.).

1 — позднепалеозойский — раннемезозойский вулканогенный пояс; 2 — Тарят-Селенгинское геосинклинальное поднятие (каледониды); 3 — пригеосинклинальный каменноугольный прогиб; 4 — выступы байкальского фундамента, переработанные каледонской складчатостью; 5 — краевое Северо-Хэнтэйское геосинклинальное поднятие; 6 — глубинные разломы; 7 — рудный узел Эрдэнитуин-Обо

компоненты. При этом следует отметить, что месторождения медно-молибденовой формации только за последние 20—25 лет стали интенсивно осваиваться промышленностью и приобрели исключительно важную роль в мировом балансе запасов и добычи молибдена.

Площади преимущественного развития месторождений порфирового типа медно-молибденовой формации обычно находятся в геосинклинальных структурах и их ближайшем обрамлении, а также в зонах сочленения разновозрастных складчатых систем (рис. 47). Размещение медно-молибденового оруденения определяется следующими факторами [34]:

- пространственной и генетической связью с интрузивами монцонитов, гранодиоритов, гранитов и диоритов, внедрившимися после основной фазы складчатости;

- пространственной и парагенетической связью с небольшими штоками и дайками порфировых пород;

- зонами разломов, согласными с общим простиранием складчатых структур.

Согласно статистическим данным, около 50 % общего числа известных месторождений рассматриваемого типа располагается в эндоконтактных зонах материнских интрузивов, 30 % — в ближайших экзоконтактных и 20 % удалены от интрузивов. В последнем случае рудные тела залегают в вулканогенных породах и нередко контролируются жерлами вулканов. Промышленное оруденение обычно не имеет четких геологических границ в плане, на глубину распространяется до 1000 м и более без существенного изменения интенсивности. Рудные тела слагают в основном штокверки, влияние пострудных разрывных нарушений на рудные тела крайне незначительно.

На большинстве месторождений порфирового типа устойчиво сохраняется состав первичных рудных минералов, что является

одной из наиболее характерных особенностей данного типа оруденения. Рудные минералы представлены относительно простой ассоциацией, наиболее широко в рудах распространены пирит, халькопирит и молибденит, реже сфалерит, галенит. Количественные соотношения между минералами резко варьируют. Состав нерудных минералов более разнообразен и зависит от состава вмещающих пород. Наиболее часто встречаются кварц, серицит, ортоклаз, биотит, минералы группы каолина.

Руды порфировых месторождений обычно вкрапленные, прожилковые, прожилково-вкрапленные, реже брекчиевые. Содержание молибдена в рудах 0,01—0,05 % и меди до 1,5 %, извлечение их из руд в концентрат составляет соответственно 75—85 и 70 %. Масштабы оруденения мелкие до весьма крупных, разработка месторождений осуществляется в основном открытым способом.

Каджаранское месторождение расположено в зоне контакта монцитового интрузива и более позднего трещинного интрузива порфировидных гранитов и гранодиоритов. Сформировавшийся здесь штокверк характеризуется сложным внутренним строением. Штокверк представлен шестью системами прожилков, из которых ведущей является система прожилков северо-западного простирания, круто падающих на северо-восток. В пределах штокверка оконтурено более десяти рудных зон, приуроченных к местам развития гранодиорит-порфиров и характеризующихся повышенным содержанием молибдена и меди (рис. 48). Плотность штокверка в пределах рудных тел достигает 100—150 прожилков на 1 м при мощности отдельных прожилков от долей миллиметра до 10 см. Возрастание мощности прожилков с глубиной одновременно влечет падение плотности штокверка. Штокверковый тип — основной тип оруденения Каджаранского месторождения.

Вкрапленные руды менее распространены, однако могут быть выделены в самостоятельный тип оруденения. Участки развития вкрапленной минерализации образуют небольшие зоны, вытянутые в северо-западном направлении. Мощность зон достигает 10—20 м, границы зон расплывчаты как в плане, так и на глубину. Вкрапленный тип оруденения характерен для медной минерализации, в значительно меньшей мере — для молибденовой. Жильный тип оруденения на месторождении имеет подчиненное значение и развит на нижних горизонтах.

По данным К. А. Карамьяна и др., в процессе минералообразования выделены следующие стадии: кварц-магнетитовая, кварц-полевошпатовая, кварц-молибденитовая, кварц-молибденит-халькопиритовая, кварц-халькопиритовая, кварц-пиритовая, кварц-сфалерит-галенитовая, кварц-карбонатная, халцедоновая, ангидрит-гипсовая. Кварц-молибденитовая и кварц-молибденит-халькопиритовая стадии — наиболее важные в промышленном отношении. Молибденит представлен кристаллами и чешуйками, часто образует тесные сростания с халькопиритом. Халькопирит выделялся всегда позднее молибденита, образуя крупные скопления с аллотриоморфной структурой.

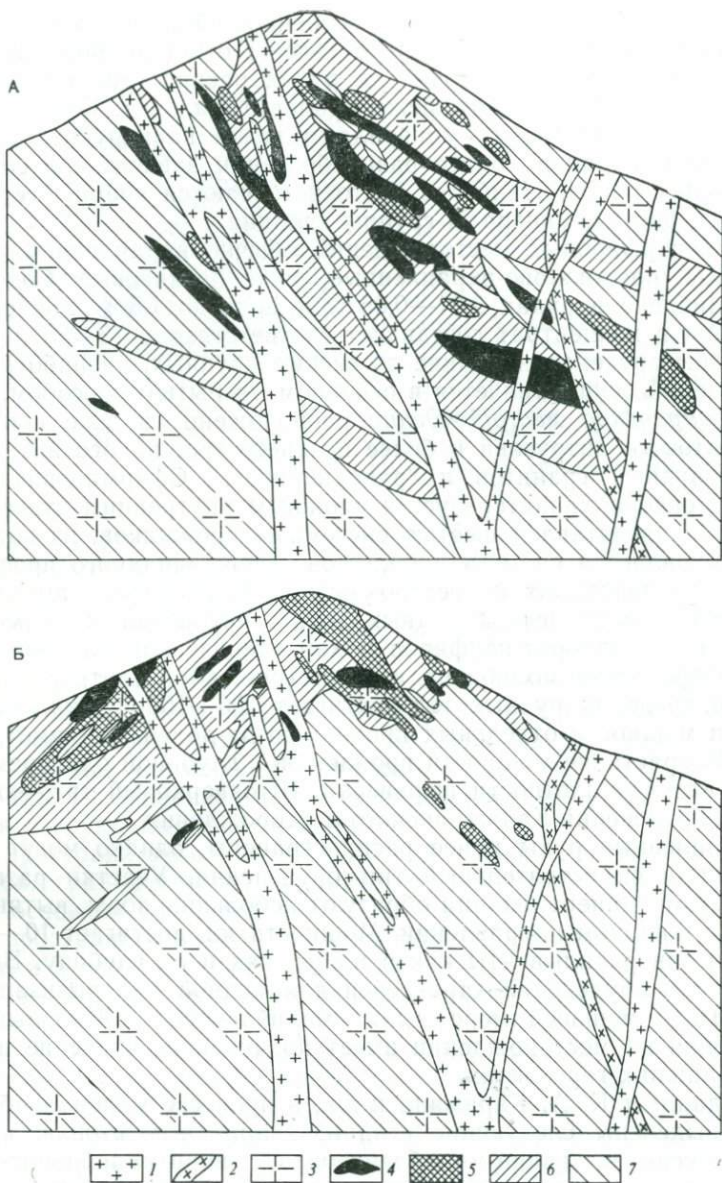


Рис. 48. Схема распределения содержаний молибдена (А) и меди (Б) в руде на одном из разрезов Каджаранского месторождения.

1 — гранодиорит-порфиры второго этапа внедрения; 2 — гранодиорит-порфиры первого этапа внедрения; 3 — монозониты; 4—7 — распределение молибдена и меди в рудах, % (4 — молибден 0,1 и более, медь 1 и более; 5 — молибден 0,1—0,075, медь 1—0,75; 6 — молибден 0,075—0,05, медь 0,75—0,5; 7 — молибден 0,05 и менее, медь 0,5 и менее)

На месторождении отчетливо наблюдается горизонтальная и вертикальная зональность в локализации молибденовой и медной минерализации. Горизонтальная зональность выражается в увеличении масштабов молибденового оруденения и содержания молибдена в рудах с юга на север, а медного оруденения — с севера на юг (см. рис. 48). Вертикальная зональность выражается в последовательном увеличении содержаний молибдена на глубину при уменьшении содержаний меди.

Месторождение Цаган-Субурга (МНР) порфирового типа расположено в пределах Уланульской структурно-формационной зоны Южно-Гобийской складчатой системы. Для района месторождения характерно линейно-блоковое строение с субширотной и северо-восточной ориентировкой основных структурных элементов и развитием поперечных разломов преимущественно северо-западного простирания. Большая часть района сложена породами цаган-субургинского магматического комплекса, представленными сиенит-диоритами, граносиенитами и гранитами позднекаменноугольного возраста. Образования комплекса слагают крупный многофазный интрузив, прорывающий каменноугольную вулканогенно-осадочную толщу. Контакты массива с вмещающими породами тектонические.

Интрузив гранитоидов и вмещающие его отложения прорваны дайками и мелкими штокообразными интрузиями позднего палеозоя, представленными лейкократовыми гранитами, граносиенитами и граносиенит-порфирами. Более поздние магматические образования выражены многочисленными дайкообразными телами и дайками ортофиоров, сиенит-порфиоров, кератофиоров. Большинство исследователей связывают медно-молибденовую минерализацию со стадией становления даек и штоков лейкократовых гранитов и граносиенит-порфиоров [29].

Месторождение находится в северо-западной приконтактной части интрузива (рис. 49) и приурочено к зоне разломов северо-восточного простирания, осложненной во многих местах северо-западными нарушениями. Рудоносная зона имеет общее северо-западное падение под углом 40—60°, на глубоких горизонтах распадается на ряд кулисообразных мелких зонков и постепенно выклинивается. Рудовмещающие породы претерпели интенсивные гидротермальные изменения: калишпатизацию, серицитизацию, окварцевание и кальцитизацию.

Рудные тела месторождения обычно имеют форму линейных штоков, концентрирующих кварц-молибденитовые и кварц-серицитовые прожилки мощностью от долей миллиметра до 15 см. Участки сгущения прожилков образуют хорошо выдержанные зоны мощностью до 20 м, прослеживающиеся на первые сотни метров. Рудные тела занимают верхние части рудоносной зоны, с глубиной они сменяются слабо минерализованными породами, а прожилково-вкрапленная минерализация меняется на вкрапленную [39].

Контуры участков распространения молибденовых и медных руд в целом на месторождении не совпадают. Молибденовое ору-

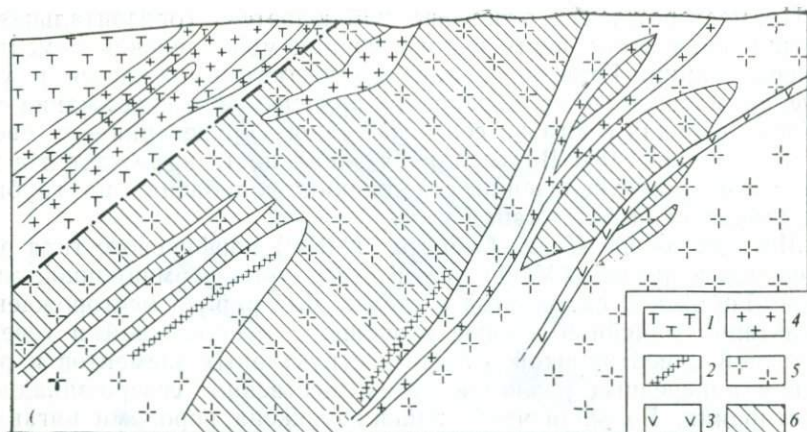


Рис. 49. Схематический геологический разрез месторождения Цаган-Субурга составлен по материалам В. И. Сотникова, 1980 г.).

1 — вулканогенно-осадочная толща каменноугольного возраста; 2 — ортофиры, сениит-порфиры, кератофиры (пермский комплекс); 3 — диоритовые порфиры (пермский? комплекс); 4 — лейкократовые граниты, граносенииты, граносениит-порфиры (рудноносный комплекс); 5 — сениито-диориты, граносенииты, граниты (цаганосубургинский комплекс); 6 — рудные тела

денение тяготеет к зоне центрального разлома и проявляется более локально, в ряде случаев прослеживаются на глубокие горизонты и фланги месторождения при последовательном затухании медной минерализации. Основные рудные минералы — халькопирит, молибденит и пирит; реже встречаются борнит, магнетит, сфалерит и галенит. Жильные минералы представлены кварцем, серицитом, полевыми шпатами и хлоритом.

ГЛАВА 6

Критерии прогноза, поисков и оценки месторождений олова, вольфрама и молибдена

Совместное рассмотрение критериев прогноза, поисков и оценки промышленных типов месторождений олова, вольфрама и молибдена применительно к стадиям геологоразведочных работ обусловлено определенным сходством геохимического распределения и низкими кларковыми содержаниями этих металлов в земной коре, участием их в общих рядах рудной зональности и наличием комплексного оруденения с устойчивыми ассоциациями рудных элементов (Sn—W, W—Mo, Sn—W—Mo). Для олова, вольфрама и молибдена характерны также сходность условий размещения месторождений и связи с магматизмом, масштабов оруденения и сфер использования в промышленности.

Взаимоотношения геологических критериев и стадий геологоразведочных работ

Одной из мер по повышению точности прогноза, качества поиска и оценки оруденения применительно к стадиям геологоразведочных работ является уточнение систематики геологических критериев, соответствующей иерархии геолого-структурных уровней природных скоплений руд — минерализованных участков земной коры разных масштабов. Согласно мировому опыту металлогенического районирования в иерархическую систему геолого-структурных уровней входят (от более крупных к более мелким рудоносным площадям): планетарный металлогенический пояс, металлогеническая провинция, рудный пояс, рудная зона (район), рудный узел, рудное поле, рудное месторождение, рудное тело. Масштабы указанных геолого-структурных уровней меняются от миллионов квадратных километров (планетарный металлогенический пояс) до нескольких сотен квадратных метров (рудное тело) и различаются примерно на порядок при переходе от одного уровня к другому [18].

В соответствии с принципом последовательных приближений изучение недр осуществляется постепенно (от общего к частному) и начинается с выявления региональных металлогенических провинций, рудных поясов и зон, выяснения их геологического строения, определения перспектив обнаружения полезных ископаемых и установления основных закономерностей размещения оруденения в пределах крупных регионов. Одним из конечных результатов региональных геологических работ должна быть количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов (категории P_3) потенциально перспективных на полезные ископаемые провинций, бассейнов, рудных поясов и зон, произведенная по предположительным параметрам на основе аналогии с более изученными объектами соответствующего масштаба, где имеются разведанные месторождения того же генетического типа. Одновременно должны быть выделены перспективные рудные узлы и поля для постановки первоочередных поисково-съёмочных работ.

Специализированные поисково-съёмочные работы проводятся в пределах геологических структур, установленных при региональных исследованиях и перспективных на выявление полезных ископаемых, характерных для данной геологической обстановки (рудных узлов и полей). Конечным результатом этих работ является количественная и качественная оценка прогнозных ресурсов (категории P_2) в пределах оконтуренных рудных узлов и полей с установленными проявлениями полезных ископаемых, геофизическими и геохимическими аномалиями, произведенная на основе аналогии с известными месторождениями того же формационного типа. Одновременно устанавливаются контуры локальных площадей, перспективных на нахождение месторождений, с целью выбора объектов для постановки первоочередных поисково-оценочных работ.

Поисково-оценочные работы осуществляются в пределах обособленных границ месторождения полезных ископаемых или благоприятных структур. Конечным результатом этих работ должна быть количественная и качественная оценка ресурсов (категории P_1) и запасов (категории C_2), произведенная на основе представлений о промышленном типе месторождения и требований оценочных кондиций. Эта оценка ресурсов (запасов) полезных ископаемых определяет целесообразность постановки предварительной разведки на изучаемом объекте или отнесения его в разряд минеральных проявлений, не имеющих промышленного значения.

К конечному результату предварительной разведки относится количественная и качественная оценка предварительно разведанных запасов (категорий C_2 и C_1) полезных ископаемых в пределах установленного контура всего месторождения или отдельных его рудных тел, произведенная на основе требований временных кондиций. Конечный результат детальной разведки — количественная и качественная оценка разведанных запасов (категорий C_1 и $A+B$, иногда C_2) полезных ископаемых в контурах изученных рудных тел месторождения или их частей, произведенная на основе требований постоянных кондиций. Эксплуатационная разведка должна обеспечивать количественную и качественную оценку подготовленных к выемке разведанных запасов (категорий $A+B$, иногда C_1+C_2) полезных ископаемых в контурах эксплуатационных блоков, произведенную на основе данных опробования горноподготовительных, нарезных и очистных выработок. Требования к нормативному соотношению категорий запасов при разведке месторождений изложены в Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых [12].

Применение принципа последовательных приближений и соблюдение стадийности геологоразведочных работ с получением конкретных конечных их результатов обуславливают на каждом уровне (масштабе) исследований соответствующую «геологическую подготовку». Системный подход при изучении геологических объектов требует четкого разделения геологических критериев для оруденения в целом на группы критериев, которые соответствовали бы масштабам проводимых исследований и изучаемым в каждом конкретном случае геолого-структурным уровням природных скоплений руд, а также отвечали бы требованиям стадийности в проведении геологоразведочных работ. По-видимому, целесообразно выделить три группы геологических критериев для оруденения: прогнозные, поисковые и оценочные.

Сравнительная характеристика критериев прогноза, поисков и оценки месторождений олова, вольфрама и молибдена

Прогнозные критерии. Группа прогнозных критериев используется при региональных исследованиях и служит определяющей при оценке перспектив крупных геологических структур (провин-

Прогнозные критерии оловянного, вольфрамового и молибденового оруденения (по материалам С. Ф. Лугова, В. Т. Покалова, Ф. Р. Апельцина, В. А. Ларичкина, В. К. Денисенко и др.)

| Критерии | Формации | |
|-------------------------|--|---|
| | Олово- и вольфрамоворудного ряда | Вольфрамово- и молибденоворудного ряда |
| Геолого-тектонические | Зоны обрамления срединных массивов и жестких блоков «сиалического» типа; антиклинальные поднятия миогеосинклинальных зон; пограничные мобильные зоны складчатых областей; зоны краевых глубинных разломов. Площади развития оруденения характеризуются мощностью земной коры порядка 50—35 км и менее | Зоны обрамления срединных массивов и жестких блоков «фемического» типа; пограничные области сочленения эвгеосинклинальных и миогеосинклинальных зон. Площади развития оруденения характеризуются мощностью земной коры порядка 50 км и более |
| Структурно-формационные | и впадины этапов орогенеза и активизации Наложённые приразломные вулканогенно-терригенные прогибы | |
| | Региональные зоны «поперечных» разломов взбросо-сдвигового типа; купольные структуры и их обрамление внутри вулканогенных поясов | Региональные зоны «продольных» разломов взбросо-сдвигового типа |

Рудовмещающие формации

| | | |
|----------------|--|--|
| Литологические | Терригенно-флишoidная; кремнистокarbonатотерригенная; вулканогенно-кремнисто-терригенная | |
| | Гранитогнейсовая; метаморфическая терригенная; амфиболито-гнейсовая | |

Рудоносные формации

| | | |
|---------------|--|---|
| Магматические | Диорит-гранодиоритовая; гранитовая; гранит-лейкогранитовая | Гранит-гранодиоритовая; гранит-лейкогранитовая; аляскитовая |
| | <i>Интрузивные серии</i> | |
| | Диорит→гранодиорит→гранит | Диорит→сиенит→гранит |

Петрохимический состав интрузивов

| | | | |
|---------------|---|------|---|
| Геохимические | Редкометалльно-гранитоидный, риевый, калиево-натриевый. F+B+(P) | нат- | Редкометалльно - гранитоидный, калиевый, натриево-калиевый. S+F |
|---------------|---|------|---|

| Критерии | Формации | |
|---------------|--|--|
| | Олово- и вольфрамоворудного ряд | Вольфрамово- и молибденоворудного ряда |
| Геохимические | <i>Метасоматические формации</i> | |
| | Грейзеновая, кварц-альбитовая, скарновая, турмалин-хлоритовая, березитовая | Скарновая, гумбентовая, грейзеновая, турмалин-хлоритовая, березитовая |
| Геофизические | Локальные гравитационные минимумы, соответствующие отрицательным магнитным аномалиям | Локальные гравитационные минимумы, соответствующие положительным магнитным аномалиям |

ций, рудных поясов и зон). Основу прогнозных критериев составляет типизация геологических ситуаций проявления оруденения и его генетико-формационной принадлежности (табл. 18), а также возраст продуктивной минерализации. Один из важнейших прогнозных критериев — наличие участков земной коры с совмещенным разновозрастным оруденением. Именно здесь наиболее часто создаются благоприятные условия для формирования крупных по масштабам полихронных рудных узлов, полей и месторождений.

Известно, что в истории развития земной коры происходили закономерные изменения геохимических черт редкометалльного оруденения и возрастание интенсивности его проявления (рис. 50), а также последовательная смена генетических и формационных типов месторождений олова, вольфрама и молибдена. Причиной этих явлений принято считать эволюцию физических свойств земной коры, степени активности и характера тектоно-магматических

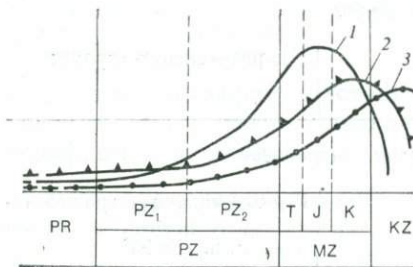


Рис. 50. Схема эволюции редкометалльного (Sn, W, Mo) оруденения.

Кривые, отражающие удельный вес проявлений оруденения в различные металлогенные эпохи: 1 — вольфрамового, 2 — оловянного, 3 — молибденового

процессов, различия в глубинах зарождения магматических очагов и становления рудоносных интрузивов во время формирования тектонических структур.

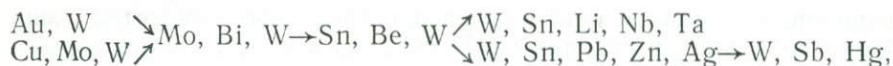
Оловянное оруденение формировалось в большом интервале геологической истории: от раннего протерозоя (2500—2100 млн. лет) до позднего неогена (10—7 млн. лет). Наиболее продуктивной явилась мезозойская оловоносная эпоха (210—80 млн. лет). Оруденение докембрийского и раннепалеозойского возраста представлено в основном оловоносными пегматитами; позднепалеозойского и раннемезозойского возраста — кварцевым, грейзеновым и скарновым типами; позднемезозойского и кайнозойского возраста — скарновым, силикатным и сульфидным типами. Кларковое содержание олова в земной коре составляет 2,5 г/т, в том числе в ультраосновных породах 0,5 г/т, основных 1,5 г/т, кислых 3 г/т, песчано-сланцевых и глинистых 10 г/т и более, а в Мировом океане 0,003 г/л. Олово образует соединения с кислородом, значительно реже — с серой. Двойственная геохимическая природа олова — сочетание в одном элементе литофильных и халькофильных свойств — обусловила его склонность к образованию соединений с галоидами и повышенную миграционную способность. Основные минералы-концентраторы олова — акцессорный касситерит и биотит. В настоящее время известно около 20 оловосодержащих минералов, но к числу наиболее распространенных относятся лишь касситерит SnO_2 и станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$, из которых только первый является промышленным минералом.

Установлен также широкий временной диапазон проявления вольфрамовой минерализации. Известны находки вольфрамита и шеелита в пегматитах и кварцевых жилах, залегающих в породах архейских и протерозойских складчатых областей. Более поздние эпitherмальные антимонит-ферберитовые месторождения формировались в кайнозое. Эволюция вольфрамового оруденения выражается в характерном образовании месторождений скарнового типа, начиная с раннего палеозоя, грейзенового и кварцевого типов — с позднего палеозоя, силикатного типа — с мезозоя. Кларковое содержание вольфрама в земной коре составляет 1—1,3 г/т. При этом в ультраосновных породах содержание вольфрама достигает 1 г/т, гранитах 1,5 г/т, песчаниках и глинистых сланцах 1,8 г/т. Вольфрам, как и олово, обладает литофильными и халькофильными свойствами, легко образует летучие соединения с галогенами и в их форме выносятся из магматического очага. Ныне известно более 20 минералов вольфрама, но наибольшее распространение и промышленное значение имеют лишь вольфрамит $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$, шеелит CaWO_4 , ферберит FeWO_4 и гюбнерит MnWO_4 , реже молибдошеелит $\text{Ca}(\text{W}, \text{Mo})\text{O}_4$.

Молибденовое оруденение формировалось в основном в три эпохи рудообразования: палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую, из которых две последние наиболее продуктивны. Для палеозойской эпохи характерно образование грейзенового и кварцевого типов месторождений, для мезозойской эпохи — скарнового и грей-

зенового, а для кайнозойской — кварцевого и порфиrowого. Среднее содержание молибдена в земной коре около 1 г/т, в том числе в ультраосновных породах 0,4 г/т, основных 0,9 г/т, средних 0,7 г/т, кислых 1,1 г/т, песчаниках и глинистых сланцах до 0,7 г/т. Молибден имеет главным образом халькофильные свойства, обладает большим сродством к сере и значительно меньшим к кислороду. По данным В. Т. Покалова, в гипогенных процессах молибден тесно связан с кремнием. При высоких температурах возможен вынос молибдена в соединении с кремнеземом в присутствии сероводорода. Понижение температуры до определенного предела создавало условия для диссоциации сероводорода, распада кремнемолибденовых соединений и образования молибденита MoS_2 — единственного промышленно ценного молибденсодержащего минерала.

Геохимические особенности оловянного, вольфрамового и молибденового оруденений определяются ведущей ролью лито-халькофильных или литофильных рудных элементов в процессе минералообразования, что, в свою очередь, обуславливает общие ряды рудной зональности. Применительно к редкометальному оруденению можно было бы наметить в общем виде следующий горизонтальный ряд региональной зональности [15]:



где вектор зональности ориентирован от эвгеосинклинальных структурно-формационных зон к миогеосинклинальным зонам.

Зональность редкометального оруденения с лито-халькофильными рудными элементами проявляется в особенностях локализации руд разного состава по отношению к интрузивным телам. В зональности оруденения находят отражение характер внутреннего строения, морфология и особенности залегания интрузивных тел в осадочно-вулканогенных толщах. Изменения в качественном составе и масштабе минерализации наблюдаются как в пределах рудных тел, так и месторождений, а также рудных полей. При этом происходит последовательная смена литофильных элементов халькофильными, что можно проследить на примере месторождений медно-молибденовой, силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций. По данным Д. В. Рундквиста и И. А. Неженского [38], наиболее устойчивой характеристикой зональности на медно-молибденовых месторождениях служит следующий упорядоченный ряд расположения рудных элементов: $(\text{Fe, W}) \rightarrow \text{Mo}$, $(\text{Cu}) \rightarrow \text{Cu}$, $(\text{Mo}) \rightarrow \text{Cu}$, $(\text{Mo}) \rightarrow \text{Cu}$, $\text{Au} \rightarrow \text{Cu}$, $(\text{Zn, Pb}) \rightarrow \text{Zn, Pb}$, (Au, Ag) . Для оловянных месторождений также можно наметить обобщенный ряд зональности рудных элементов: Sn , $(\text{W, Mn}) \rightarrow (\text{Sn})$, $\text{Fe, As} \rightarrow (\text{Cu})$, Pb, Zn . Следует отметить, что широкое распространение в рудах молибденовых и оловянных месторождений арсенопирита исключает наличие высоких концентраций в них минералов меди.

Зональность редкометального оруденения с ассоциацией литофильных рудных элементов зависит от состава вмещающих пород, глубины рудообразования и длительности формирования месторождений. Изменение состава магматических образований в сторону все более кислых, а затем щелочных гранитоидных пород влечет за собой изменение сопутствующего оруденения: от вольфрам-молибденового к олово-вольфрамовому, далее к комплексному редкометальному (Sn, Nb, Ta, Li, Be) и редкометально-редкоземельному. В целом для вольфрам-молибденового оруденения обобщенный ряд локальной зенальности может быть выражен в следующем виде: $Mo \rightarrow Mo, Be, W \rightarrow W, (Bi) \rightarrow (Cu, Zn, Pb) \rightarrow (Ag, Au)$. По соотношению в рудах вольфрама и молибдена прослеживается полный переходный ряд от существенно молибденовых до собственно вольфрамовых месторождений. Для олово-вольфрамового оруденения характерен ряд зональности: $Li, Be, Sn \rightarrow Sn, W, (As) \rightarrow W, (Bi) \rightarrow (Fe, Cu, Zn, Pb)$. В отличие от оруденения силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций на олово-вольфрамовых месторождениях отсутствует ранняя вольфрамовая (докасситеритовая) стадия рудообразования.

В последовательной смене ассоциаций рудных элементов в зональных рядах имеют место частные закономерности, или «антагонистические» случаи сочетания ассоциаций. Так, в вольфрамовых рудах широкое распространение молибденита исключает присутствие касситерита, а для олово-вольфрамовых руд нехарактерно наличие молибденита. Однако следует отметить, что если на одном и том же месторождении ассоциация $W - Mo$ исключает развитие ассоциации $W - Sn$, то в общем процессе рудообразования в пределах конкретного участка земной коры вольфрам выступает как бы связывающим звеном между молибденом и оловом.

В настоящее время обычно выделяют три основных типа провинций с проявлениями оловянного, вольфрамового и молибденового оруденения, которые различаются мощностью земной коры, геологическим строением и развитием магматизма, интенсивностью проявления оруденения тех или иных редких металлов и другими особенностями.

К первому типу отнесены провинции складчатых областей линейно-зонального строения, сложенные породами терригенно-флишидной, карбонатно-терригенной и вулканогенно-кремнисто-терригенной формаций. Структурная позиция рудных зон обусловлена приуроченностью к участкам сочленения эвгеосинклиналей и миогеосинклиналей, в первую очередь к обрамлению разделяющих их срединных массивов ранней консолидации. При этом в миогеосинклиналях, окаймляющих массивы, преимущественно развита оловянная и олово-вольфрамовая минерализация. По периферии срединных массивов, граничащих с эвгеосинклиналями, размещается вольфрамовое и вольфрам-молибденовое оруденение. Для провинций первого типа характерно проявление орогенного магматизма диорит-гранодиоритового, гранодиорит-гранитового и

лейкогранитового состава. С лейкократовыми гранитами ассоциирует основное оруденение.

Провинции второго типа характеризуются блоковым строением складчатых областей и наличием наложенных вулканогенно-терригенных прогибов. Размещение гранитных интрузивов и ассоциирующих с ними проявлений оловянного, вольфрамового и молибденового оруденения контролируется бортовыми частями этих прогибов или выступами пород фундамента внутри их. Оруденение связано с лейкократовыми и аляскитовыми гранитами, образовавшимися в постинверсионный период формирования данной территории. Оловянное и олово-вольфрамовое оруденение тяготеет к прогибам, размещенным среди миогеосинклиналей, а внутри эвгеосинклиналей или вблизи их наблюдается вольфрамовая и вольфрам-молибденовая минерализация.

К провинциям третьего типа относятся площади, приуроченные к зонам тектоно-магматических активизаций на платформах и щитах. Редкометальное оруденение ассоциирует здесь с продуктами вулcano-плутонического магматизма — результатом активизации консолидированных участков земной коры. А. Д. Щеглов [42] полагает, что между определенными типами месторождений зон активизации и поздних стадий развития геосинклинально-складчатых областей имеются некоторые черты сходства, обусловленные формированием в близких геологических ситуациях. Однако при этом А. Д. Щеглов считает необходимым отметить и существенную разницу в особенностях образования месторождений с одинаковым набором ведущих полезных ископаемых, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 19.

Поисковые критерии. Группа поисковых критериев отражает условия возможного нахождения месторождений минерального сырья в конкретной геологической обстановке (рудном узле и поле). Для каждого формационного и промышленного типа месторождений установлены свои, присущие только ему поисковые критерии. Наиболее важные из них следующие: характер рудоносного магматизма и положение оруденения относительно магматических тел, локальные рудовмещающие структуры, литологические особенности вмещающих пород и их околорудные изменения, геохимические черты ореолов рассеяния и характер геофизических полей. Ниже кратко рассмотрены поисковые критерии применительно к выделенным промышленным типам оловянного, вольфрамового и молибденового оруденения.

Скарновый тип месторождений редких металлов тесно ассоциирует с гранитоидами. Оруденение локализуется как среди карбонатных отложений различного возраста в зонах эндо- и экзоконтактов гранитоидных интрузивов, так и внутри интрузивных тел или терригенных толщ на границах литологически благоприятных карбонатных и алюмосиликатных пород. Редкометальная минерализация, как правило, наложена на скарны, образовавшиеся в дорудную стадию.

На площадях развития оловянного оруденения скарнового типа

Геологическое развитие и эндогенная металлогения крупных тектонических элементов земной коры (по материалам А. Д. Щеглова)

| Особенности | Геосинклинально-складчатые области дальневосточного типа | Области автономной активизации |
|--|--|---|
| Фундамент | Геосинклинальные зоны ранних циклов, реже платформы, материковая кора | Платформы; консолидированные геосинклинальные зоны, достигшие платформенного состояния; срединные массивы |
| Ведущий тип тектонических движений | Складчатые движения | Разрывные движения |
| Общий характер развития | Направленное, стадийное, полициклическое. Отчетливо выделяются три стадии: собственно геосинклинальная, общих восходящих движений и главных фаз складчатости, консолидации складчатых структур | Направленное, стадийное. Отчетливо выделяются две стадии: «вулканогенных наложенных прогибов» и «терригенных наложенных впадин», проявляющиеся в континентальных условиях на общем фоне положительных вертикальных движений |
| Тип осадочных и вулканогенных формаций | Терригенные морские: флишевая и флишеидная, прибрежная песчано-сланцевая, молассы | Наземные, вулканогенные, угленосные пестроцветные, молассы |
| Складчатость | Весьма интенсивная, резкоконтрастная, линейная | Приразломная, ограниченная |
| Роль разрывных нарушений | Значительная | Очень большая, предопределяющая проявление интрузивов |
| Область развития магматических очагов | Гранитный слой | Верхняя мантия на границе с базальтовым слоем |
| Характер магматизма | Широкое проявление гранитов, реже гранодиоритов | Трещинные интрузивы гранопород; щелочные базальты гранит-порфиров, щелочных диорит-монцититов, гранит- |
| Тип метаморфизма | Интенсивный региональный и контактовый, реже динамический | Интенсивный динамический, приразломный, контактовый |

| Особенности | Геосинклинально-складчатые области дальневосточного типа | Области автономной активизации |
|---|--|--|
| Главные генетические типы месторождений | Гидротермальные высоко- и среднетемпературные, низкотемпературные | Гидротермальные среднетемпературные, эпитеермальные, телеермальные |
| Специфические месторождения | Высокотемпературные гидротермальные оловянные и вольфрамовые, редкометалльные (Sn, W) пегматиты и грейзены | Месторождения «пятиэлементной» формации, флюоритовые и марганцевые, эпитеермальные полиметаллические и флюоритовые |
| Элементы: ведущие специфические | Sn, W, Mo, Au, F, Pb, Zn, Hg, Sb Sn, W, Mo, Au | Pb, Zn, Cu, Ag, U, F, Sn, W, Sb, Hg, Ba, Mn Pb, Zn, U, F, Mn, Sn, W |

отчетливо проявлена олово-бор-фторовая геохимическая и металлогеническая специализация гранитоидных интрузивов, что служит важным поисковым критерием. Наряду с турмалином, топазом и флюоритом наблюдаются проявления аксинита, датолита, данбурита, флюобарита. С глубиной оловорудные залежи быстро выклиниваются, уменьшается содержание олова, кальцита и флюорита, одновременно возрастает роль сульфидов. Для участков локализации оруденения характерны локальные гравиметрические максимумы и магнитные аномалии повышенной интенсивности.

При поисках вольфрамовых месторождений скарнового типа необходимо учитывать объемные соотношения между магнизиальными и известковыми скарнами, а также интенсивность развития в последних постскарнового преобразования. При этом подчеркивается, что продуктивная шеелитовая минерализация скарнов пропорциональна интенсивности проявления кварц-полевошпатового и альбит-скаполитового метасоматоза, грейзенизации, пропилизитизации, березитизации и иного замещения. Крупные тела шеелитоносных скарнов замещают пласты и линзы карбонатных пород, часто чередующиеся с алюмосиликатными. Менее благоприятными для оруденения являются останцы в интрузивах гранитоидов. Наиболее часто рудоконтролирующими локальными структурами выступают вогнутые контакты интрузивных тел (провесы кровли), сложные системы трещин скола и отрыва в приконтактных частях разнотипных пород. В литохимических ореолах рассеяния элементами-индикаторами служат вольфрам, олово, мышьяк и бор, иногда висмут и медь. Скарны отчетливо контролируются гравитационными минимумами с узкими зонами пород повышенной плотности вдоль контактов гранитоидных массивов,

Для рудных тел вольфрам-молибденовых месторождений скарнового типа характерно расположение в широких зонах экзоконтактов гранитоидных интрузивов, часто на значительном удалении от последних, где они бывают совмещены с послегранитными дайками. Наиболее характерны секущие и межпластовые рудно-скарновые залежи на границах карбонатных и алюмосиликатных вмещающих пород. Первичные литохимические ореолы рассеяния содержат повышенные концентрации молибдена, вольфрама, фтора, висмута, свинца и цинка, реже меди и серебра. На площадях развития вольфрам-молибденового оруденения скарнового типа в гравитационном поле гранитоиды отражаются пониженными значениями аномалии силы тяжести, контакты фиксируются аномалией типа ступени за счет более высокой плотности контактово-измененных пород. Высокие содержания в скарновых залежах сульфидов позволяют с большим эффектом использовать ряд геофизических электроразведочных методов.

Специфическая особенность площадей преимущественного развития редкометальных месторождений скарнового типа — тесная пространственная ассоциация с проявлениями железных руд, плавленого шпата, бора и ряда цветных металлов. Все они составляют генетически единые комплексы с ясно выраженными геохимическими и минералогическими связями.

Грейзеновый и кварцевый типы месторождений связаны с гранитоидными комплексами орогенных интрузивов, сложенных биотит-роговообманковыми гранитами (реже гранодиоритами), лейкократовыми и аляскитовыми гранитами. Интрузивные комплексы прорывают терригенные, часто вулканогенно-терригенные толщи в зонах сквозных разломов в местах сопряжения разнородных структур. Оруденение отчетливо контролируется гранитными куполами, в том числе и не выходящими на дневную поверхность, что особенно важно при поисках месторождений. При этом кварцевый тип оруденения имеет наиболее надежные и выдержанные промышленные параметры в надынтрузивной зоне, а грейзеновый — непосредственно в купольной интрузивной. Иногда месторождения располагаются в околоинтрузивной зоне.

Локальными рудовмещающими структурами здесь служат сложные системы сближенных контракционных трещин скола и отрыва в купольных частях гранитоидных интрузивов, часто в около- и надынтрузивных зонах пород различного состава. Благоприятны для формирования месторождений гребне- и куполовидные выступы апикальных частей интрузивов, останцы пород кровли, контакты разнотипных изверженных пород. При наличии плотных и хрупких пород оруденение почти всегда избирательно локализуется в последних, это же относится и к пористым породам. Околорудные метасоматические преобразования представлены интенсивным ороговикованием и грейзенизацией.

Тесная пространственная и временная связь оруденения с гранитными куполами позволяет эффективно использовать при поисках комплекс геохимических и геофизических методов. С помощью

магнитной съемки и электропрофилирования в масштабах 1 : 10 000—1 : 5 000 можно уточнить положение контактов интрузивных тел и зон гидротермального изменения пород, выделить разрывные нарушения и зоны повышенной трещиноватости. В открытых районах для этих целей привлекаются ядерно-геофизические методы, а также пьезоэлектрический метод, эффективность которого обусловлена наличием в рудных телах значительного количества кварца.

Главные элементы-индикаторы в первичных литохимических ореолах в пределах надкупольной зоны скрытых интрузивов — олово, вольфрам, молибден и висмут. Ореолы элементов-индикаторов, как правило, совпадают с отрицательными гравиметрическими и положительными магнитометрическими аномалиями. Вскрытые эрозией массивы гранитоидов характеризуются отрицательным, а связанные с ними зоны контактового метоморфизма — положительным магнитным полем.

Руды рассматриваемых типов месторождений обычно комплексные, т. е. содержат, кроме олова, вольфрама и молибдена, другие редкие металлы, а также золото, что повышает их промышленную значимость.

Силикатный тип месторождений пространственно тесно связан с небольшими многофазными гипабиссальными интрузивами гранитоидов, представленными кварцевыми монзонитами, граносиенитами и лейкократовыми гранитами, а также с трещинными телами и дайками фелизитов, лампрофиров, гранит-порфиров и микродиоритов. Наличие серий даек обычно рассматривается как поисковый критерий, так как дайки трассируют глубинные разломы и отражают их магмо- и рудоконтролирующую роль. Подавляющее большинство месторождений силикатного типа размещается в надинтрузивных зонах скрытых гранитоидных массивов, часто в их экзоконтактах и реже в эндоконтактах. Основные локальные рудовмещающие структуры — трещинные системы в зонах дробления пород и местах сопряжения повышенной трещиноватости, в поверхностях структурного несогласия, а также узлы пересечения зон тектонических нарушений и участки их выклинивания при кулисообразном расположении.

Важным поисковым критерием для оруденения силикатного типа служит также геохимическая специализация гранитоидных комплексов: повышенное содержание олова в составе слюд, бора — в рудоносных гранитоидах и тесная его ассоциация с оловом, а также характерные метасоматические изменения (окварцевание, турмалинизация, хлоритизация, серицитизация и пропилитизация) вмещающих пород. При этом для ранних минеральных ассоциаций среди метасоматически преобразованных пород характерны топаз, флюорит, турмалин, сидерофиллит, иногда адуляр, светлые слюды, магнетит и гематит. Поздние ассоциации — существенно хлоритовые и флюорит-карбонатные.

Большое значение при выборе направления поисковых работ имеет установление первичных геохимических ореолов рассеяния

элементов, сопутствующих оруденению и образующих широкие контуры рассеяния вокруг рудных тел. В строении первичных ореолов месторождений силикатного типа примечательной особенностью является вертикальная зональность: в подрудной ореольной зоне элементный состав представлен (по убывающей значимости) вольфрамом, висмутом, мышьяком, молибденом, оловом и медью; в среднерудной — оловом, медью, индием, цинком, вольфрамом, висмутом и мышьяком; в надрудной — свинцом, серебром, цинком, сурьмой, оловом и индием. Указанная зональность в размещении главных ореолообразующих элементов позволяет определять уровни эрозионного среза и вертикальный размах промышленного оруденения.

Геофизические поля в районах преимущественного развития оруденения силикатного типа выражены локальными гравиметрическими минимумами и положительными магнитными аномалиями средней интенсивности, что характерно для терригенных толщ на участках выходов небольших интрузивов гранитоидов повышенной основности. Участки олово-вольфрамового оруденения силикатного типа часто ассоциируют с участками полиметаллического, золотого и сурьмяно-ртутного оруденения.

Сульфидный тип месторождений характеризуется приуроченностью рудных полей и месторождений к глыбовым поднятиям на периферии вулканических зон, а также к вулканическим структурам: куполам и неккам, линейным депрессиям и кальдерам. Это — один из главных поисковых критериев для оруденения данного типа.

Глыбовые поднятия отмечаются в виде «окон» осадочных пород, выступающих из-под покровов эффузивов. Такие участки характеризуются положительными гравитационными аномалиями. Появление наложенных куполов обусловлено, как правило, формированием на глубине крупных интрузивов гранитоидов и субвулканических тел, наличие которых обычно подтверждается гравитационными минимумами. Рудоносные структуры проседания — депрессии и кальдерные постройки — характерны для зон, отличающихся интенсивными процессами наземного вулканизма и обрамляющих сводовые поднятия внутри вулканогенного пояса.

Оруденение сульфидного типа ассоциирует с субвулканическими породами липарит-гранитного ряда (диоритовыми порфирами, кварцевыми порфирами, гранит-порфирами, лейкократовыми гранитами и липаритами) и располагается на некотором удалении от последних или в зоне их экзоконтактов. Оловянная минерализация четко контролируется околорудными изменениями вмещающих пород — березитизацией, хлоритизацией и алунитизацией. Обилие хлорита, местами турмалина в связи с сульфидами — важнейший поисковый критерий оруденения сульфидного типа.

Месторождения формировались, как правило, в близповерхностных условиях. Индикаторами оруденения обычно служат комплексные ореолы рассеяния олова, серебра, свинца, цинка, меди, сурьмы, индия и ртути. При выборе методов поисковых работ сле-

дует иметь в виду, что в верхних частях месторождений часто наблюдается оловянно-полиметаллическая минерализация или полиметаллическая со слабой примесью олова. С глубиной она сменяется продуктивным оловянным оруденением с ограниченным количеством сульфидов. Для месторождений сульфидного типа характерен комплексный характер руд (олово, медь, цинк, свинец, индий, серебро, висмут, сурьма), что и обуславливает повышенные содержания этих элементов в первичных литохимических ореолах рассеяния.

Порфиновый тип месторождений тяготеет к орогенным интрузивно-вулканогенным зонам и имеет тесную пространственную связь с малыми телами порфириновых пород (кварцевых монцитопорфиринов, гранодиорит-порфиринов, гранит-порфиринов), представляющих собой поздние дифференциаты крупных многофазных интрузивов габбро-диорит-гранодиоритового ряда. Интрузивы гранитоидов прорывают вулканогенно-карбонатно-терригенные толщи эвгеосинклиналей. Месторождения в основном располагаются в интрузивной зоне (реже в экзоконтактах) среди алюмосиликатных пород среднего, среднекислого и среднеосновного состава, представленных интрузивными, эффузивными и эффузивно-пирокластическими разностями. Рудные залежи не имеют четких границ и постепенно переходят в слабоминерализованные породы.

Локальными рудовмещающими структурами служат зоны повышенной трещиноватости и системы трещин скола, возникшие в результате многократных сложных пересечений тектонических разрывных нарушений, участки пересечения разрывными нарушениями контактов разнородных интрузивных тел или интрузивных и вмещающих пород, а также жерла вулканов и брекчиевые трубки взрыва. Оруденение контролируется как региональными разрывными нарушениями, согласными с общим простираем складчатых структур, так и поперечными или косоориентированными.

Наиболее благоприятны для локализации оруденения хрупкие и пористые породы. К метасоматическим преобразованиям вмещающих пород относятся окварцевание, калишпатизация, серицитизация и аргиллизация, реже биотитизация, пропицитизация и хлоритизация. Гидротермально измененные породы, с которыми ассоциирует оруденение, характеризуются локальными отрицательными гравитационными и магнитными аномалиями. Участки с обильной сульфидной минерализацией фиксируются здесь электроразведочными работами, в частности методом вызванной поляризации.

Минеральный состав руд месторождений порфиривого типа характеризуется простой ассоциацией рудных минералов: пирит, халькопирит и молибденит, в небольших количествах распространены сфалерит и галенит. Главные элементы-индикаторы в первичных литохимических ореолах рассеяния — молибден, медь и свинец. Ореолы молибдена пространственно совмещены с ореолами меди; однако уступают последним по размерам. Ореолы свинца разобщены с ореолами молибдена и меди, кольцеобразно охватывая их. Месторождения порфиривого типа, как правило, комплекс-

ные. Кроме молибдена и меди, в их рудах часто отмечаются повышенные концентрации золота, серебра и висмута.

Оценочные критерии. Оценка выявляемых минерализованных участков земной коры (рудных зон, узлов, полей и месторождений) необходима на всех стадиях геологоразведочных работ, однако особое значение она приобретает на стадии поисково-оценочных работ, поскольку именно на этой стадии решается вопрос о целесообразности постановки на выявленных объектах дорогостоящих разведочных работ. В целях объективной разбраковки выявленных минеральных проявлений целесообразно учитывать три группы оценочных критериев: социально-экономические, горно-геологические и географо-экономические, которые наиболее полно определяют степень промышленной значимости изучаемого геологического объекта.

Социально-экономические критерии представляют собой совокупность данных о потребностях в минеральном сырье, степени их удовлетворения в настоящее время и будущем. На основе этой группы оценочных критериев регулируются темпы развития геологоразведочных работ на тот или иной вид полезных ископаемых, что позволяет решать главную задачу — своевременную и качественную подготовку разведанных запасов минерального и энерготехнологического сырья в количествах, обеспечивающих необходимые уровни его добычи и ограждающих независимость экономики государства от конъюнктуры цен на мировом рынке.

Диапазон использования олова, вольфрама и молибдена в мировом производстве необычайно широк. Олово используется при изготовлении белой жести, бронзы, баббитов и сплавов с заданными свойствами. Вольфрам и молибден применяются в металлургии при производстве легированных сталей и различных сплавов. Добавка вольфрама в сталь резко повышает ее твердость, прочность, упругость и тугоплавкость. Эти металлы и продукция из них крайне необходимы в машиностроении, авиационной, электротехнической, радиоэлектронной и химической промышленности. Все это позволяет отнести олово, вольфрам и молибден к числу важнейших стратегических металлов, определяющих экономический потенциал современного развитого государства.

За последние 30 лет в промышленно развитых капиталистических и развивающихся странах добыча олова увеличилась в 1,2 раза, трехокиси вольфрама в 3 раза и молибдена в 7 раз. При этом темпы роста разведанных запасов этих металлов в основном соответствовали темпам роста добычи. Однако при весьма больших абсолютных приростах запасов олова, трехокиси вольфрама и молибдена в настоящее время наблюдается снижение темпов относительного прироста их запасов [21]. Так, темпы среднегодового прироста запасов олова за 1970—1980 гг. уменьшились по сравнению с 1950—1960 гг. в 2 раза, трехокиси вольфрама в 1,5 раз и молибдена в 1,1 раза. Наметилась устойчивая тенденция снижения обеспеченности разведанными запасами уровней добычи этих полезных ископаемых. При этом следует обратить внимание

на то, что за истекшие 30 лет цены мирового рынка на олово возросли почти в 10 раз, на вольфрам в 35 раз и на молибден в 5 раз.

По данным Е. Н. Кондрашова [13], мировое производство молибдена до 2000 г. и далее имеет гарантированную сырьевую базу и определенные возможности для ее расширения. Что касается производства олова и вольфрама, то здесь можно ожидать дефицитной ситуации к концу текущего столетия. Выходом из критической ситуации может стать вовлечение в разработку месторождений с более бедными рудами или месторождений, расположенных в неосвоенных районах.

Следует отметить, что переход к разработке месторождений с более бедными рудами, в том числе оловянных и вольфрамовых, и освоению новых отдаленных районов при отсутствии там развитой инфраструктуры до сих пор не сопровождался в развитых капиталистических и развивающихся странах увеличением реальных затрат на добычу минерального сырья, т. е. издержек, соотношенных с общим индексом мировых цен [21]. Например, издержки на производство 1 т олова в концентрате из руд месторождений разных промышленных типов с различными горно-геологическими и географо-экономическими условиями разработки меняются от 6,1 до 14,5 тыс. дол., что примерно в 1,2—3 раза ниже современных мировых цен на этот вид полезного ископаемого. Таким образом, вопросы развития геологоразведочных работ на олово, вольфрам и молибден, а также совершенствования технологии переработки руд и рационального их использования останутся актуальными как в настоящее, так и в будущее время.

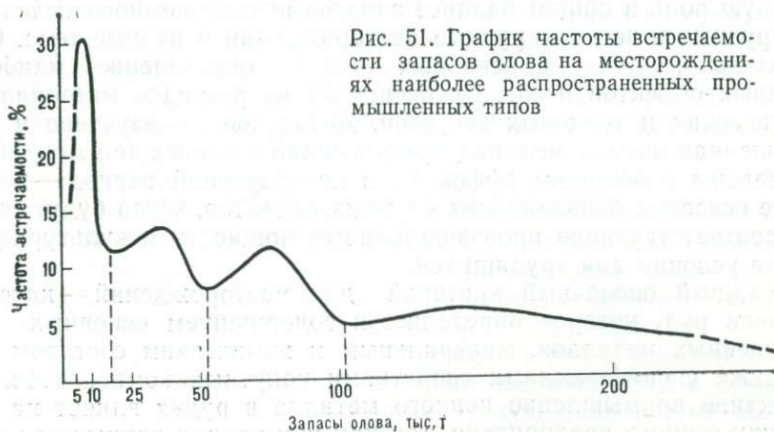
Горно-геологические критерии включают промышленный тип месторождения, количество запасов руд и содержание в них полезных и вредных компонентов, глубину и условия залегания рудных тел, физико-механические свойства руд и вмещающих пород, гидрогеологические и другие особенности технической характеристики месторождения. Объем данной работы не позволяет детально рассмотреть все указанные критерии. В обобщенном виде горно-геологические особенности месторождения отражены в трех основных критериях: промышленном типе месторождения, возможном масштабе запасов руд и содержании в них полезных компонентов, условиях залегания рудных тел. На базе перечисленных показателей уже можно в общих чертах определить контуры будущего горно-обогатительного предприятия, его мощность и сроки существования, примерные капиталовложения, количество и качество товарной продукции.

Накопленный опыт изучения промышленных типов оловянных, вольфрамовых и молибденовых месторождений дает достаточные представления о роли каждого из них в запасах и добыче металлов. В настоящее время более половины запасов и основная добыча олова сосредоточены на месторождениях силикатного промышленного типа, в меньшей мере — на месторождениях кварцевого и сульфидного типов; вольфрама — на месторождениях

скарнового и кварцевого типов; молибдена — на месторождениях порфирового, грейзенового и кварцевого типов. Следовательно, определение промышленного типа выявленного месторождения в процессе работ уже позволяет судить о его возможном промышленном значении.

Другой критерий, характеризующий выявленное оруденение, — вероятные запасы полезного ископаемого (масштаб оруденения). В целях уточнения понятия «масштаб оруденения» необходимо установить закономерность распределения запасов по месторождениям различной крупности, а также разделить по рудным телам месторождений. Рассмотрим этот вопрос на примере оловянных месторождений. Построенный по данным частоты встречаемости месторождений различной степени крупности график приемлем для всех типов оловянного оруденения и свидетельствует о том, что распределение запасов не противоречит логарифмически нормальному закону (рис. 51). С некоторой долей условности можно выделить четыре совокупности, отвечающие группам месторождений с разными масштабами оловянного оруденения: мелкие с запасами олова до 20 тыс. т; средние с запасами олова до 50 тыс. т; крупные с запасами олова до 100 тыс. т; весьма крупные с запасами олова свыше 100 тыс. т.

Как и для всех рудных месторождений других полезных ископаемых, для месторождений олова, вольфрама и молибдена характерно, что между числом месторождений в той или иной группе и содержащимися в них запасами редких металлов наблюдается обратная зависимость. В весьма крупных месторождениях, составляющих всего 5 % от общего количества оловорудных месторождений, сосредоточено 42 % запасов олова. В 20 месторождениях мира заключено более 80 % разведанных запасов молибдена. На это же количество месторождений приходится и основная доля добычи указанных полезных ископаемых. Еще большая неравномерность распределения запасов олова, вольфрама и молибдена



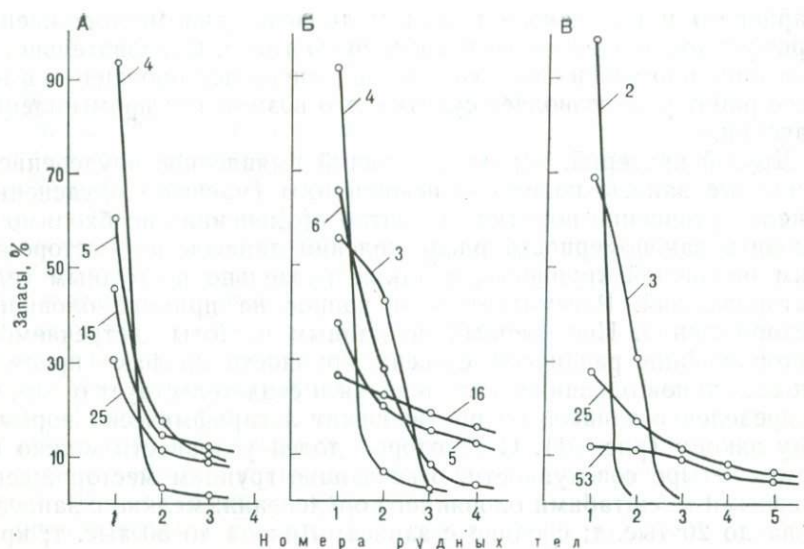


Рис. 52. Кривые распределения запасов олова (А), вольфрама (Б) и молибдена (В) по рудным телам на типовых месторождениях.

Цифры у кривых — число рудных тел на месторождениях. Номера рудных тел соответствуют их величине, рудное тело 1 — самое крупное

свойственна для низких уровней — рудных тел и участков месторождений. Как видно из графиков (рис. 52), построенных по фактическим данным, свыше половины запасов металлов на месторождениях сосредоточено, как правило, в двух-трех крупных рудных телах, а остальная их часть заключена в многочисленных более мелких телах.

Анализ распределения количества металлов на разных масштабных уровнях позволяет сделать важный вывод о том, что главную роль в общем балансе запасов играют немногочисленные, но крупные и весьма крупные месторождения и рудные тела. Следовательно, одна из основных задач — определение наиболее крупных объектов и сосредоточение на их разведке материально-технических и трудовых ресурсов. Детальное же изучение и промышленная оценка мелких месторождений и рудных тел могут быть проведены с большим эффектом в последующий период — в процессе освоения близлежащих крупных объектов, когда будут созданы соответствующие производственные мощности и культурно-бытовые условия для трудящихся.

Важный оценочный критерий для месторождений — качество запасов руд, которое определяется содержанием основных промышленных металлов, минеральным и химическим составом руд, а также специфическими свойствами попутных компонентов. Содержание промышленно ценного металла в рудах влияет на экономику горного предприятия, так как при прочих равных условиях

себестоимость конечного продукта обратно пропорциональна содержанию полезного компонента в рудной массе. Вместе с тем отмечается также и обратная зависимость между качеством руд и масштабами запасов руд месторождений. Указанные закономерности имеют большое значение для правильного понимания причин снижения качества запасов руд по мере развития их добычи. Эти причины вызываются расширением мощностей горнодобывающих предприятий, ускоренной обработкой месторождений с богатыми рудами и вовлечением в эксплуатацию более крупных месторождений с рядовыми, а затем и бедными рудами.

При этом необходимо подчеркнуть, что понятия «богатые, рядовые и бедные руды» относительны. Вкладываемое в эти понятия содержание о качестве руд непостоянно и во многом зависит от объективно меняющихся во времени условий добычи полезных ископаемых. Так, с начала текущего столетия в мировой практике среднее содержание олова в рудах уменьшилось в 4—6 раз, имеется тенденция к дальнейшему его снижению. Однако при прочих равных горно-геологических и географо-экономических условиях удорожания производства олова не произошло, что обусловлено расширением масштабов и усовершенствованием технологии производственных процессов.

Таким образом, качество запасов руд месторождений нельзя отождествлять с высоким содержанием в них металла. Наиболее ценными для народного хозяйства надо считать не те месторождения, которые отличаются высоким содержанием металла в рудах, а те, которые дают самую дешевую продукцию и притом в наибольшем количестве. Как правило, это — крупные месторождения рядовых и бедных руд.

Количественные и качественные характеристики запасов руд месторождений тесно взаимосвязаны и не должны рассматриваться в отрыве друг от друга.

Решающее значение на выбор способа разработки объекта оказывают морфология рудных тел и глубина их залегания. Рудные тела оловянных месторождений наиболее широко представлены жильными образованиями (собственно жильными и минерализованными зонами дробления), в которых в настоящее время сосредоточено почти две трети всех запасов олова. Подавляющее большинство указанных месторождений относится к силикатному типу. Оловорудные штокверковые месторождения представлены всеми промышленными типами, но наибольшую практическую значимость имеют месторождения кварцевого типа. Более половины мировых запасов трехоксида вольфрама заключено в скарных залежах и одна треть — в жильных месторождениях кварцевого типа. Подавляющая часть мировых запасов молибдена сосредоточена в штокверковых и порфириновых месторождениях.

Таким образом, установление в процессе работ природных особенностей выявленных объектов играет важную роль в принятии решения о дальнейшем их изучении. Полученные данные должны быть в полной мере использованы при обосновании последователь-

ности и методов изучения объектов, определении необходимой к настоящему времени степени их разведки и оценки с учетом объективных требований горно-добывающей промышленности, отраслевой и народно-хозяйственной эффективности производства.

Географо-экономические критерии представляют собой сумму сведений о природно-климатических условиях и уровне экономического развития района, где расположено месторождение полезного ископаемого. Как показывает практика, природно-климатические условия, степень развития энергетики и транспорта, водные ресурсы района во многом определяют сроки вовлечения в хозяйственный оборот разведанных месторождений независимо от их масштабов и качества минерального сырья. Так, например, по этим причинам длительное время не осваивается ряд крупных разведанных месторождений полезных ископаемых.

Вместе с тем ускоренное развитие общественного производства в СССР требует все более широкого использования богатейших минерально-сырьевых ресурсов, особенно в восточных и северных районах страны. На современном этапе необходим принципиально новый подход к геолого-экономической оценке как месторождений в отдельности, так и в целом всего сырьевого потенциала новых районов, который позволит обеспечить комплексное изучение всех полезных ископаемых того или иного района в тесной экономической взаимосвязи выявляемых и ранее разведанных месторождений с учетом возможного создания и использования единых общерайонных элементов инфраструктуры для их освоения. При условии освоения всех минерально-сырьевых ресурсов района затраты на инфраструктуру могли бы быть разнесены пообъектно, что реально отражало бы народнохозяйственную эффективность вовлечения в разработку новых месторождений полезных ископаемых. В связи с этим было бы целесообразно в каждом конкретном случае задачи и последовательность изучения геологических объектов тесно увязывать с конкретными и перспективными проектными проработками развития экономики районов.

Развитие и использование минерально-сырьевой базы тесно связаны с поступательным движением мировой экономики. Несоциалистический мир обладает достаточными природными ресурсами, однако проблема обеспеченности минеральным сырьем требует комплексного подхода, долгосрочного прогноза и планирования на уровне государства. В условиях капиталистического способа производства такие возможности ограничены. В подавляющем большинстве стран несоциалистического мира ныне еще нет общепринятой методологии апробации и учета потенциальных ресурсов минерального сырья, для государственных и региональных оценок используются различные методы, в основу которых положен принцип прибыльности. Коммерческий подход к сырьевым ресурсам препятствует объективной оценке их реальных масштабов, в связи с чем приводимые в зарубежной литературе оценки запасов полезных ископаемых можно считать заниженными.

Плановое социалистическое хозяйство располагает всеми необходимыми возможностями для сознательного управления процессами воздействия общества на природу, успешного обеспечения растущих потребностей в топливе, энергии и сырье, что наглядно проявляется в жизни и взаимном сотрудничестве стран — членов СЭВ. В частности, принятая в 1978 г. на XXXII заседании сессии СЭВ долгосрочная целевая программа, предусматривающая развитие поисковых и разведочных работ на наиболее важные виды полезных ископаемых во всех перспективных районах стран — членов СЭВ, способствовала открытию целого ряда месторождений угля, нефти, газа, цветных металлов и горно-химического сырья.

В последние годы в нашей стране осуществлены мероприятия по дальнейшему совершенствованию методов геолого-экономической оценки и учета минерально-сырьевых ресурсов. Разработаны и введены в действие новая Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (1981 г.). Временное положение о классификации прогнозных ресурсов, подготовке и учете запасов категории C_2 твердых полезных ископаемых (1981 г.), а также ряд других нормативных документов.

Изложенные в указанных документах требования к обоснованию каждой категории запасов (ресурсов) соподчиняются с последовательностью (стадийностью) изучения сырьевого потенциала в пределах геологических объектов разных масштабов: от металлогенических провинций, рудных поясов и зон до рудных узлов (полей) и месторождений. Впервые четко разграничиваются понятия о генетических, формационных и промышленных типах оруденения.

По существу ныне создана реальная база для разработки системы «прогноз→поиск→оценка» и выделения на ее основе оптимальных критериев для каждой стадии изучения того или иного типа оруденения с соблюдением принципов последовательных приближений, геологических аналогий и выборочной детализации наблюдений. Некоторые из этих вопросов (генетические, формационные и промышленные типы оруденения, критерии для их прогноза, поиска и оценки и т. д.) рассмотрены в работе на примерах оловянного, вольфрамового и молибденового оруденений. Основные результаты исследований сводятся к следующему.

1. Современные представления об условиях локализации природных скоплений полезных компонентов в земной коре нашли отражение в классификациях месторождений, которые можно разделить на три группы: генетические, формационные и промышленные. Группы классификаций тесно взаимосвязаны, каждая способствует решению определенного круга вопросов изучения геологии полезных ископаемых, прогноза, поиска, разведки и оценки месторождений того или иного типа на соответствующей стадии геологоразведочных работ.

Использование при металлогенических исследованиях генетических и формационных признаков оруденения резко повышает объем информации о выявляемых конкретных месторождениях — вещественном составе их руд, комплексе промышленно ценных минералов, характере связи оруденения с элементами геологического строения и типом рудоконтролирующих структур, условиях залегания и морфологических особенностях рудных тел, масштабах оруденения. В свою очередь совокупность этих данных уже позволяет судить о возможных технологических свойствах и качестве руд, горно-геологических условиях и технико-экономических показателях разработки месторождений, т. е. о степени их промышленной значимости, а также о целесообразности разведки и вовлечения в хозяйственный оборот.

2. Геологическим структурам различного строения и магматическим комплексам, образовавшимся на определенных этапах развития этих структур, присущи специфические рудные формации, а в их пределах — минеральные типы, соответствующие промышленным типам месторождений полезных ископаемых. Генетико-формационный подход к выделению промышленных типов месторождений позволяет на научной основе прогнозировать выявление промышленных скоплений руд определенного типа в отдельных блоках земной коры, а также предвидеть возможный их минеральный состав и масштабы оруденения. При этом на ранних стадиях геологоразведочных работ необходимо иметь в виду, что в пределах какого-либо района рудные образования того или иного формационного типа требуют особого внимания к оценке всего набора полезных ископаемых, характерных для данного типа оруденения, но пока еще неизвестных в районе. Это особенно важно в случае обнаружения так называемых полиформационных (полихронных) образований, возникших в результате пространственного совме-

шения разнотипного и разновозрастного оруденения. Такие образования характеризуются крупными запасами руд, наличием нескольких генераций основных рудных минералов, значительных объемов метасоматических пород и широких ореолов рассеяния элементов-индикаторов.

3. Понятие «промышленный тип месторождения» — понятие историческое. При дальнейшем развитии горного дела и металлургии количество промышленных типов месторождений полезных ископаемых будет неизбежно возрастать за счет вовлечения в сферу освоения месторождений других минеральных типов, относимых ныне к разряду нерентабельных.

Выделенные в настоящей работе промышленные типы объединяют оловянные, вольфрамовые и молибденовые месторождения, которые в последние годы служат основными объектами поисков и разведки, главными поставщиками этих металлов. Однако разведанные запасы рассмотренных промышленных типов месторождений составляют лишь небольшую часть от общего количества олова, вольфрама и молибдена в земной коре. Использование основных запасов этих металлов ограничено сегодняшним уровнем социально-экономических и технических возможностей человеческого общества.

4. Генетико-формационная классификация промышленных типов месторождений олова, вольфрама и молибдена отражает природное разделение типов оруденения, сформированных в различных геологических ситуациях и обладающих индивидуальными геолого-экономическими признаками. В связи с этим доказана необходимость четкого разграничения прогнозных, поисковых и оценочных критериев, сопоставимых по масштабам с изучаемыми геологическими объектами и проводимыми исследованиями, а также отвечающих требованиям стадийности в проведении геолого-разведочных работ.

Прогнозные критерии используются при региональных исследованиях и оценке перспектив обширных площадей (провинций, рудных поясов и зон), отражают характер глубинного строения минерализованных блоков земной коры и развитие в их пределах формационных комплексов осадочных, магматических и метасоматических пород, возраст продуктивной минерализации и геолого-структурную позицию рудоносных площадей.

Поисковые критерии отражают условия возможного образования месторождений в конкретной геологической обстановке (рудном узле или поле). Наиболее важные из них — особенности рудоносного магматизма, положение оруденения относительно магматических тел, наличие локальных рудовмещающих структур, околорудных изменений вмещающих пород, а также геохимические особенности ореолов рассеяния и характер геофизических полей.

Оценочные критерии представляют собой совокупность данных о потребностях в минеральном сырье и степени их удовлетворения, промышленных типах месторождений, возможном масштабе оруденения и качестве руд, горно-технических и географо-экономи-

ческих особенностях разработки месторождений. На базе таких данных уже можно в общих чертах определить контуры будущего горно-обогатительного предприятия, его мощность и сроки существования, примерные капиталовложения, количество и качество товарной продукции.

Выполненные исследования и их результаты, изложенные в работе, направлены на решение вопросов, поставленных в июне 1982 г. на заседании секции «Научные основы и новые методы прогноза, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» Межведомственного Совета Госкомитета СССР по науке и технике по проблеме «Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение».

Список литературы

1. *Быбочкин А. М.* Месторождения вольфрама и закономерности их размещения. М., Недра, 1965.
2. *Вольфрамовые месторождения, критерии их поисков и оценки*/ Под ред. Ф. Р. Апельцина. М., Недра, 1980.
3. *Вольфсон Ф. И., Дружинин А. В.* Главнейшие типы рудных месторождений. М., Недра, 1982.
4. *Геология месторождений олова зарубежных стран*/Р. М. Константинов, С. Ф. Лугов, Б. В. Макеев и др. М., Недра, 1969.
5. *Геология оловорудных месторождений Восточной Киргизии*/А. Б. Павловский, А. С. Крючков, Н. К. Маршукова и др. М., Недра, 1977.
6. *Дергачев В. Б., Тимофеев Н. И., Ладыгина И. Н.* Зональность Калгутинского молибдено-вольфрамового месторождения Горного Алтая. — В кн.: Зональность рудных месторождений Сибири. Новосибирск, 1981, с. 84—91.
7. *Епифанов Л. Н., Цветков Л. П.* Основные черты геологии и структуры штокверка Первоначального Пыркакайского оловорудного узла Центральной Чукотки. — Геология рудных месторождений, 1977, № 5, с. 87—92.
8. *Иванов Ю. Г.* Металлогения олова Приморья, М., Недра, 1971.
9. *Иванов Ю. Г.* Геохимические и минералогические критерии поисков вольфрамового оруденения. М., Недра, 1974.
10. *Каждан А. Б.* Методологические основы разведки полезных ископаемых. М., Недра, 1974.
11. *Каждан А. Б.* Формационная принадлежность промышленных типов урановых месторождений. — Советская геология, 1978, № 1, с. 38—53.
12. *Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых*. М., ОНТИ ВИЭМС, 1982.
13. *Кондрашов Е. Н.* Современное состояние и перспективы развития рудной сырьевой базы за рубежом. М., ОНТИ ВИЭМС, 1979. (Обзор. Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ).
14. *Кормилицын В. С.* Рудные формации и процессы рудообразования (на примере Забайкалья). Л., Недра, 1973.
15. *Критерии и методика прогнозирования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых*. М., изд. СЭВ, 1981.
16. *Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые*. Л., Недра, 1978.
17. *Ларичкин В. А.* Промышленные типы месторождений олова. — Советская геология, 1975, № 6, с. 37—48.
18. *Ларичкин В. А.* Геологические основы прогноза и методы оценки оловорудных месторождений (на ранних стадиях геологоразведочных работ). М., Недра, 1981.
19. *Ларичкин В. А.* Промышленные типы месторождений редких металлов. М., ОНТИ ВИЭМС, 1982. (Экспресс-информация. Геологические методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых).
20. *Ларичкин В. А.* О рациональной последовательности геологоразведочных работ и оценки ресурсов минерального сырья. — Советская геология, 1982, № 1, с. 8—14.
21. *Ларичкин В. А.* Мирохозяйственные аспекты минерального сырья: прогнозы и действительность. М., ОНТИ ВИЭМС, 1982. (Обзор. Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ).
22. *Лугов С. Ф., Макеев Б. В.* Генетическая и промышленная классификация оловорудных месторождений. — Советская геология, 1972, № 5, с. 49—60.
23. *Материиков М. П.* Группировка месторождений олова по промышленным типам. — Советская геология, 1966, № 8, с. 15—25.
24. *Настич Н. А.* Новый вольфрамоворудный узел в Приморье. — Разведка и охрана недр, 1977, № 5, с. 12—16.

25. *Онихимовский В. В., Гаврилов В. И.* Промышленные типы оловорудных формаций. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1981, № 7, с. 56—70.

26. *Основные типы оловорудных районов/С. Ф. Лугов, Б. В. Макеев, А. Б. Павловский и др., М., Недра, 1976.*

27. *Отрощенко В. Д.* Металлогенический анализ рудных формаций вольфрама Тянь-Шаня. Ташкент, Фан, 1977.

28. *Отрощенко В. Д.* Критерии перспективной оценки скарновых месторождений вольфрама. Ташкент, Фан, 1982.

29. *Павлова И. Г.* Медно-порфировые месторождения. (Закономерности размещения и критерии прогнозирования). Л., Недра, 1978.

30. *Павловский А. Б.* Генетические типы и основные закономерности размещения оловорудных месторождений Тянь-Шаня. — Советская геология, 1974, № 8, с. 74—90.

31. *Перваго В. А.* Условия формирования и геолого-экономическая оценка промышленных типов месторождений цветных металлов. М., Недра, 1975.

32. *Повилайтис М. М.* Эндогенные месторождения вольфрама и условия их формирования. М., Недра, 1979.

33. *Покалов В. Т.* Генетические типы и поисковые критерии эндогенных месторождений молибдена. М., Недра, 1972.

34. *Покалов В. Т., Хрущов Н. А.* Методы поисков и разведки месторождений молибдена. М., изд. Мингео СССР, 1976.

35. *Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых/Под ред. В. Т. Покалова. М., Недра, 1977.*

36. *Радкевич Е. А.* Оловорудные формации и их практическое значение. — Советская геология, 1968, № 1, с. 14—24.

37. *Рудные месторождения СССР/Под ред. В. И. Смирнова. Т. 3. М., Недра, 1978.*

38. *Рундквист Д. В., Неженский И. А.* Зональность эндогенных рудных месторождений. Л., Недра, 1975.

39. *Сотников В. И., Жамеран М., Мягмар Л.* Молибденово-медные месторождения Цаган-Субурга (МНР). — Геология рудных месторождений, 1980, № 3, с. 34—46.

40. *Фролов А. А.* Штокверковые рудные месторождения. М., Недра, 1978.

41. *Хазов Р. А.* Геологические особенности оловянного оруденения Северного Приладожья. Л., Наука, 1973.

42. *Щеглов А. Д.* Основы металлогенического анализа. М., Недра, 1980.

Указатель рудных районов, зон, узлов, полей, месторождений и проявлений

- Аббаретц 55
Авйкайа 57
Агаракское 133
Агылкинское 103
Азегур 129, 133, 134
Айриш-Крик 55
Акчатау 103, 133
Альтенберг 55, 70, 71
Аляскитовое 103
Арсеньевское 57, 85, 87, 88
- Барнт Хилл 55
Беатрис-Майн 55
Бейсуншумао 133
Бингем 133
Богутинское 103, 122, 123
Большой Каньон 72
Бренда 133
Бугданское 133, 137, 138
Букит-Туманг 116
Бургочан 57
Бырыллыэлах 103
- Валькумейская 79
Верхне-Кайрактинское 103
Восток-2 103
- Гендерсон 133
Гэцзю 77
- Дальнее 57, 89
Дальнегаежное 90—93
Доджер 103
Долкоатс 57, 81, 83, 84
- Жирекенское 133
- Зейфен 57, 85, 88
Злата Копец 55
- Илинтас 57, 105
Ингичке 103, 107, 109
Иультин 53, 55, 61, 103
- Каджаранское 133, 143
Калгутинское 103, 116, 117, 133
Караоба 103, 133
Кафан 55, 77, 78
Квеста 133
Кителя 55, 73—77
Клаймакс 133, 140, 141
Клигга Хэд 55
Койташ 103, 110, 111
Кола Уйу 57
- Комсомольский 79, 81
Корнуэлл 83, 84, 105
Крутой 63
Кти-Теберда 103
Куйвивеем-Пыркакайский 61, 62
- Лабу 55
Лаочан 55, 77, 78
Ларамкота 57
Лембинг 57
Лермонтовское 103, 112, 113
Лорнекс 133
Льялягуя 93
Люпикко 74
- Маихура 103, 106
Малагэ 77, 78
Маучи 65, 66
Милл-Сити 103
Моренси 133
Мушистон 106
- Одинокое 55, 67
Озерная 98
Омсукчанская 79
- Пайн-Крик 103, 109
Панашкейра 55
Первоначальное 55, 61, 63—65
Пети-Париж 57
Пиньок 55
Питкьяранта 74
Потоси 59, 93, 94
Приладожский 73
Пыркакайский 53
Пяотан 103
- Садисдорф 103
Сайкира 57
Санг-Донг 111, 112
Сан-Хосе-де-Оруро 57, 94
Светлое 103, 120
Сихуашань 103, 118
Спокойнинское 115
Сулливан 57
Сунгей 57
- Тайпинг 57
Тигриное 60
Токири 55
Тотораль 57
Трудовое 57, 105, 125, 126
Тырныауз 103, 133

Уксинское 74
Умальтинское 133—136

Фан-Тну 55
Фестивальное 57, 81—83
Флат-Ривер 103
Фукэн 103

Хепоселька 74
Хопунвара 74
Хуанподи 103, 133

Цыган-Субурга 145, 146
Центральный 63
Циновец 55

Чен-Чай 103, 114
Чорух-Дайрон 103, 106, 133

Шанпин 103, 120
Шарье 57
Шахтаминское 139
Шерловогорское 57, 89

Экунгское 55, 68—70
Эль-Теньенте 133
Эрдэнтитуин-Обо 142
Эренфридерсдорф 55
Эсперанса 133

Янцзычжанцзы 133

Оглавление

| | |
|---|-----|
| Предисловие | 3 |
| Глава 1. Основные проблемы использования минерального сырья в мировом хозяйстве | 5 |
| Обеспеченность мирового производства минеральным сырьем | 5 |
| Развитие и использование минерально-сырьевой базы мирового хозяйства | 12 |
| Принципы систематики и учета минерально-сырьевых ресурсов | 22 |
| Глава 2. Основные положения классификаций месторождений редких металлов | 35 |
| Систематика месторождений твердых полезных ископаемых | 35 |
| Обоснование промышленных типов месторождений редких металлов и принципиальная схема их группировки | 46 |
| Глава 3. Промышленные типы месторождений олова | 52 |
| Кварцевый тип | 52 |
| Грейзеновый тип | 66 |
| Скарновый тип | 71 |
| Силикатный тип | 78 |
| Сульфидный тип | 88 |
| Оловоносные россыпи | 95 |
| Глава 4. Промышленные типы месторождений вольфрама | 99 |
| Скарновый тип | 104 |
| Грейзеновый тип | 114 |
| Кварцевый тип | 119 |
| Силикатный тип | 124 |
| Вольфрамоносные россыпи | 127 |
| Глава 5. Промышленные типы месторождений молибдена | 218 |
| Скарновый тип | 129 |
| Грейзеновый тип | 134 |
| Кварцевый тип | 138 |
| Порфиновый тип | 141 |
| Глава 6. Критерии прогноза, поисков и оценки месторождений олова, вольфрама и молибдена | 146 |
| Взаимоотношения геологических критериев и стадий геологоразведочных работ | 147 |
| Сравнительная характеристика критериев прогноза, поисков, и оценки месторождений олова, вольфрама и молибдена | 148 |
| Заключение | 167 |
| Список литературы | 171 |
| Указатель рудных районов, зон, узлов, полей, месторождений и проявлений | 173 |

Виктор Александрович Ларичкин

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ**
(олова, вольфрама, молибдена)

Редактор издательства *Ю. А. Рожнов*
Обложка художника *О. В. Камаева*
Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*
Технический редактор *Е. В. Воробьева*
Корректор *Н. А. Громова*

ИБ № 6180

Сдано в набор 17.10.84. Подписано в печать 28.12.84. Т-25132.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Печать высокая.
Усл.-печ. л. 11,0. Усл. кр.-отт. 11,25. Уч.-изд. л. 12,31. Тираж 1900 экз.
Заказ 1877/441-4. Цена 70 коп.

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

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

70 коп.



1027 ✓

НЕДРА