

ПОИСКИ  
МЕДНО-  
РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

---

**Cu**

ПОИСКИ  
МЕДНО-  
РУДНЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

18415



МОСКВА «НЕДРА» 1985

Поиски меднорудных месторождений/Бородаевская М. Б., Володин Р. Н., Кривцов А. И. и др.— М.: Недра, 1985.— 219 с., ил.

Рассматриваются геологические основы и методы поисков месторождений меди. Дается промышленно-генетическая типизация месторождений с учетом современных требований к меднорудному сырью и его комплексному использованию. Анализируются тенденции и перспективы развития сырьевой базы медедобывающей промышленности. На базе формационного и системного анализа рассматриваются типовые поисковые модели месторождений. Особое внимание уделяется методике поисков скрытых меднорудных месторождений.

Для геологов-производственников; может быть использована в качестве учебного пособия в вузах геологического профиля.

Табл. 8, ил. 42, список лит.— 43 назв.

Авторы: М. Б. Бородаевская, Р. Н. Володин, А. И. Кривцов, А. П. Лихачев, И. З. Самонов

Рецензент — Г. Ф. Яковлев, д-р геол.-минер. наук (Московский государственный университет)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Неуклонный рост промышленного производства в нашей стране с целью максимального повышения благосостояния советского народа определяет необходимость постоянного расширения и укрепления минерально-сырьевой базы страны. XXVI съезд КПСС поставил перед советскими геологами задачу обеспечения опережающего роста разведанных запасов минерального сырья в недрах, по сравнению с темпами развития добывающих отраслей промышленности, в первую очередь в районах действующих горнодобывающих предприятий и вновь создаваемых территориально-производственных комплексов, повышения экономической эффективности поисковых и разведочных работ и качества подготавливаемых запасов. Все это требует постоянного совершенствования геологических основ регионального, мелко- и среднemasштабного и локального прогнозирования, рационального использования и сочетания существующих методов с разработкой эффективных поисковых методик и комплексов, создания новых геологических, геофизических, геохимических и горно-буровых методов поисков, создания и внедрения новых технических средств. Это особенно важно в настоящее время, когда легкооткрываемых месторождений становится все меньше и необходимо расширение поисковых работ на скрытые месторождения, в первую очередь в районах действующих горнодобывающих предприятий.

Решение задачи существенного расширения и укрепления минерально-сырьевой базы страны может быть осуществлено в основном за счет открытия и изучения новых месторождений ведущих геолого-промышленных типов, промышленные представители которых встречаются достаточно часто и характеризуются средними и крупными масштабами, обеспечивающими возможность строительства на их базе современных высокоэффективных предприятий. В сырьевой базе меди главное значение имеют месторождения четырех геолого-промышленных типов — медно-никелевого, меднопорфирового, медноколчеданного, а также медистых песчаников и сланцев, отличающихся по своей геологической позиции, размерам и морфологии рудных тел, качеству, минеральному и вещественному составу руд. Специфика этих месторождений должна учитываться на всех стадиях работ — от регионального прогнозирования при мелкомасштабных геологосъемочных и геофизических работах до детальных поисковых и поисково-оценочных работ. На всех стадиях (подстадиях) поисковые работы для каждого геолого-промышленного типа месторождений должны выполняться на соответствующей специализированной геологической основе с использованием комплексов поисковых методов, обеспечивающих выявление основных поисковых критериев и признаков, определяющих специфику потенциальных рудных районов, полей и месторождений каждого геолого-промышленного типа.

При подготовке работы авторами учтены многолетний опыт поисковых работ на медь, выполненных геологами территориальных геологических организаций в различных районах СССР, а также разработанные в ЦНИГРИ геолого-генетические основы прогнозирования и поисков медных и медьсодержащих месторождений.

## МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА МЕДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Медь является важнейшим металлом, используемым человеком с глубокой древности. По уровню производства и потребления среди других металлов она занимает третье место (после железа и алюминия). Всего с начала XIX в. в развитых капиталистических и развивающихся странах на конец 70-х годов XX в. выплавлено 212 млн. т первичной черновой меди, из них около 100 млн. т в 1961—1980 гг. Общие запасы меди в указанных странах на начало 1981 г. составляли 481,3 млн. т, в том числе доказанные 386,1 млн. т, а добыча меди (по содержанию в концентратах) в 1980 г. — 5882 тыс. т [29].

Распределение запасов и добычи меди по континентам и странам крайне неравномерное: свыше 80 % их сосредоточено на американском и африканском континентах. Так, в 1980 г. на Южную и Центральную Америку (главным образом на Чили, Перу, Мексику и Панаму) приходилось 171,6 млн. т (35,7 %) общих запасов и 1608 тыс. т (27,3 %) добычи меди, на Северную Америку (США и Канаду) соответственно 132 млн. т (27,4 %) и 1885 тыс. т (32,1 %), Африку (в основном Замбию, Заир, ЮАР) 102,4 млн. т (21,3 %) и 1364 тыс. т (23,2 %), Азию (Филиппины, Иран и др.) 51,6 млн. т (10,7 %) и 495 тыс. т (8,4 %), Австралию и Океанию (Австралийский Союз и Папуа Новую Гвинею) 16 млн. т (3,3 %) и 364 тыс. т (6,2 %) и Европу 7,7 млн. т (1,6 %) и 166 тыс. т (2,8 %).

Важнейшими странами — производителями меди, на которые в 1980 г. приходилось около  $\frac{3}{4}$  общих запасов и ее добычи (по содержанию в концентратах), являются: США (100 и 1175)\*, Чили (100 и 1068), Замбия (54 и 596), Заир (36 и 460), Канада (32 и 710) и Перу (32 и 365). Сырьевая база меди в Японии незначительная (в 1980 г. общие запасы меди составляли 2 млн. т, добыча 53 тыс. т), а в таких развитых западноевропейских странах — крупных потребителях меди, как Бельгия, Великобритания, Италия, Франция и ФРГ, практически отсутствует.

Советский Союз обладает качественной сырьевой базой меди, обеспечивающей развитие меднорудной промышленности страны на значительную перспективу. Надежная сырьевая база этого металла в основном в послевоенный период создана и в ряде социалистических стран (НРБ, МНР, ПНР, СФРЮ).

### ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ

Скопления меди в земной коре образуются в самых разнообразных геологических обстановках при различных условиях температур, давления, кислотности растворов и других параметров природных процессов практически на всем протяжении развития Земли — от докембрия до кайнозоя включительно.

\* В скобках первая цифра запасы, млн. т, вторая — добыча, тыс. т.

В настоящее время достаточно четко выделяются девять общеизвестных геолого-промышленных типов месторождений, которые хорошо укладываются в шесть генетических групп, выделенных В. И. Смирновым [34]. Каждый из этих типов характеризуется своей геологической позицией в истории развития районов, присущими ему условиями образования, морфологией, размерами и условиями залегания рудных тел, минеральным и вещественным составом руд, их технологическими свойствами (табл. 1).

В СССР главное значение в запасах и добыче меди имеют месторождения четырех типов: медно-никелевого, меднопорфирового, медистых песчаников и сланцев и медноколчеданного; в развитых капиталистических и развивающихся странах только двух — меднопорфирового и медистых песчаников и сланцев. Доля месторождений медноколчеданного типа в запасах меди этих стран составляет всего 6,5 %, кварцево-сульфидного (жильного), скарнового и медно-никелевого 2,3; 2,0 и 1,6 % соответственно, остальных типов незначительная.

### Медно-никелевые месторождения

Медно-никелевые месторождения генетически и пространственно связаны с расслоенными интрузивами основного и ультраосновного состава, развитыми в пределах зеленокаменных поясов либо в полях развития трапповой вулканоплутонической ассоциации. Рудные тела этих месторождений располагаются в самих рудоносных массивах или во вмещающих их породах, обычно в лежащем боку массивов на расстоянии до 150 м, реже на более значительном (район Томпсон в Канаде). Максимумы проявления медно-никелевого оруденения приходятся на поздний докембрий и мезозой.

Докембрийский возраст имеют месторождения Кольского полуострова, Воронежского кристаллического массива и Прибайкалья в СССР и подавляющее большинство объектов зарубежных стран (Канады, США, Ботсваны, Зимбабве, ЮАР, Австралии, Финляндии), на которые приходится 1,6 % (7,5 млн. т) общих запасов меди развитых капиталистических и развивающихся стран. Свыше 70 % их сосредоточено в Канаде в районе Садбери (пров. Онтарио), где известно свыше 40 месторождений, половина которых отработана. Наиболее крупными являются Фруд-Стоби, Коппер-Клиф, Левак, Страткона, Крейтон, Муррей, Гарсон, Фалконбридж. Содержание меди в рудах 0,4—0,9 % (величина  $Cu/Ni$  0,4—1,0). В крупных месторождениях другого района Канады Томпсон (пров. Манитоба) содержание меди низкое (в среднем 0,15 %). В сумме месторождения Канады обеспечивают 72 % добычи меди из объектов медно-никелевого типа.

Основные запасы медно-никелевых руд в США сосредоточены в месторождениях массива Дулут (шт. Миннесота), которые не эксплуатируются в связи с низкими содержаниями меди и никеля (соответственно 0,49 и 0,20 %).

Выявленные в конце 60-х годов месторождения Ботсваны (Пикве, Сейлаб) характеризуются средними размерами и повышенными содержаниями меди (около 1,2 % при величине  $Cu/Ni$ , близкой к еди-

Геолого-промышленные типы месторождений меди

Генетическая группа месторождений	Геолого-промышленные типы месторождений	Характеристика рудных районов (1) и полей (2)	Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные (1) и минеральные (2) типы руд	Среднее содержание элементов в рудах, %	Основные попутные компоненты (обычно присутствующие)	Ориентировочные запасы меди в отдельных месторождениях, тыс. т		Относительная роль в общих запасах меди, %	
							рядовых	наиболее крупных	СССР	капиталистических и развивающихся стран
I. Магматическая	1. Медно-никелевый	1. Участки зеленокаменных поясов с развитием базит-гипербазитового магматизма либо группы расчлененных массивов в полях развития трапповой вулканоплутонической ассоциации 2. Зоны концентрации сульфидоносных магматических тел и стратифицированных комплексов основного — ультраосновного состава в прибрежных частях наложенных прогибов и осложняющих их региональных разломах либо площади развития силлообразных массивов лейкократовых и таксито-пойкилофитовых габбро-долеритов трапповой формации, несущих сульфидное оруденение	Согласные пластобразные залежи, линзо- и жиллообразные тела, длина и ширина от десятков метров до первых километров, мощность от долей метра до многих десятков метров	1. Медно-никелевый 2. Пентландит-халькопирит-пирротинный	Cu 0,2—3,5; Ni 0,5—1,5	Co, S, Pt (Pd, Os, Ir, Ru, Rh, Au, Ag, Se, Te)	100—600	до 2000 и более	30,2	1,6
	2. Железо-медный в габброидах	2. Зоны развития расчлененных ультраосновных и основных массивов с проявлениями титаномагнетитового и медного оруденений	Линзообразные зоны прожилкововкрапленных руд, длина по простиранию и падению десятки — сотни метров, мощность до нескольких десятков метров	1. Железо-медный ванадий-титаносодержащий в габброидах 2. Борнит-халькопирит-титаномагнетитовый с апатитом	Cu 0,5—1,5; Fe до 20	Ti, V, P (Se, Te, Pd)	200—300	1000	0,8	0,5
II. Карбонатитовая	3. Карбонатитовый	2. Площади развития массивов ультраосновных щелочных пород с медьсодержащими карбонатитами	Трубообразная, штокверковая, площадь до 0,5 км <sup>2</sup> , глубина >300 м	1. Железо-медный карбонатитовый 2. Халькопирит-борнит-магнетитовый с апатитом	Cu 0,5—0,9; Fe до 20	P (U, Th, Au, Ag, Se, Te, TR)	—	2500	—	0,6
III. Скарновая	4. Скарновый	2. Площади развития известковых скарнов в экзоконтактной зоне массивов гранодиоритов, плагиогранитов и плагиосиенитов среди карбонатных пород	Пласто- и столбовая, сложная, размер по длинной оси от десятков до сотен метров	1. Железо-медный золото-серебросодержащий 2. Борнит-халькопирит-пирит-магнетитовый	Cu 1,5—5,0	Fe, Au, Ag, (Co, Mo, Se, Te)	100—300	1000	2,0	2,0

Генетическая группа месторождений	Геолого-промышленные типы месторождений	Характеристика рудных районов (1) и полей (2)	Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные (1) и минеральные (2) типы руд	Среднее содержание элементов в рудах, %	Основные попутные компоненты (обычно присутствующие)	Ориентировочные запасы меди в отдельных месторождениях, тыс. т		Относительная роль в общих запасах меди, %	
							рядовых	наиболее крупных	СССР	капиталистических и развивающихся стран
IV. Гидротермальная	5. Меднопорфировый	1. Части вулканоплутонических поясов, в пределах которых развиты вулканы андезит-дацитового и андезит-липарит-дацитового состава и многофазные плутоны габбро-диорит-гранодиоритовой формации калинатрового ряда, сопровождающиеся интрузивными штоками продуктивных порфировых фаз 2. Площади развития меднопорфировых систем, включающих многофазные плутоны, сопровождающие их интрузивные штоки продуктивных порфировых фаз и зоны гидротермально измененных пород (окварцованных, серицитизированных, пропилитизированных) с признаками медной минерализации	Штокверки изометричной, удлиненной и сложной форм площадью от 0,2 до первых единиц квадратных километров, глубиной многие сотни метров	1. Молибденово-медный порфировый 2. Молибденгалькопирит-пиритовый	Cu 0,3—1,5; Mo 0,005—0,050	(Fe, Au, Ag, Se, Te)	600—1500	10 000 и более	23,3	65,1

IV. Гидротермальная	6. Кварцево-сульфидный (жильный)	2. Участки развития разрывных структур, контролирующих размещение меднорудных жил и жильных зон	Жилы и жильные зоны, длина по простиранию и падению от десятков до нескольких сотен метров, мощность 1—10 м, иногда более	1. Медный и свинцово-цинково-медный золото-серебро содержащий 2. Халькопирит-пиритовый и галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый	Cu 1,5—6,0	Au, Ag, (Se, Te, Pb, Zn, Bi)	50—200	1000	1,6	2,3
	7. Самородной меди	2. Площади, занимаемые толщами, сложенными ритмичными сериями покровов базальтов и конгломератов с самородной медью в верхней амигдалондной части покровов и в конгломератах	Пластообразная, длина по простиранию и падению от десятков до сотен метров, мощность 1—10 м	1. Медный в лавовых покровах и конгломератах 2. Самородно-медный (халькопирит-борнит-самородно-медный)	Cu 1,0—2,5	Ag	300—500	1500	—	0,6

Генетическая группа месторождений	Геолого-промышленные типы месторождений	Характеристика рудных районов (1) и полей (2)	Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные (1) и минеральные (2) типы руд	Среднее содержание элементов в рудах, %	Основные сопутствующие компоненты (обычно присутствующие)	Ориентировочные запасы меди в отдельных месторождениях, тыс. т		Относительная роль в общих запасах меди, %	
							рядовых	наиболее крупных	СССР	капиталистических и развивающихся стран
V. Колчеданная	8. Медноколчеданный	1. Части эвгеосинклинальных структурно-формационных зон с проявлениями продуктивных на колчеданное оруденение раннегеосинклинальных вулканитов контррастной (липарит-базальтовой) и непрерывной (базальт-андезит-дацит-липаритовой) формаций натровой серии базальтоидного магматизма. 2. Палеовулканические постройки с преимущественным развитием кислых и умеренно кислых составляющих контрастной и непрерывной вулканогенных формаций, представленных туфовыми, лавовыми, рефе субвулканическими фациями	Пласто-, линзообразная и сложная комбинированная, длина по простиранию и падению от первых десятков до многих сотен метров, мощность от первых метров до 200 м	1. Медный, цинково-медный и медно-цинковый золото-серебросодержащий колчеданный 2. Сфалерит-халькопирит-пиритовый	Cu 1,0—4,0; Zn 1,0—4,0	S, Au, Ag (Cd, Se, Te, In, TI, Ge)	300—600	1000—4000	20,6	6,5

VI. Стратифонная	9. Медистых песчаников и сланцев	1. Краевые части крупных наложенных прогибов и мульды, а также базальные горизонты платформенных чехлов, сложенные пестроцветными образованиями прибрежно-морских, лагунных и дельтовых фаций, представленных гравелитами, песчаниками, алевролитами, мергелями 2. Конседиментационные структуры с перспективно рудоносными литолого-фациальными горизонтами пестроцветных отложений с проявлениями медного оруденения, занимающими определенное стратиграфическое положение	Пластовые, пластобразные и лентообразные залежи, длина и ширина от многих сотен метров до первых километров, мощность 0,3—30 м, иногда более	1. Медный серебросодержащий в песчаниках и сланцах 2. Халькопирит-борнит-халькозиновый	Cu 1,0—6,0	Ag (Re, Se, Te, Pb, Zn, Co)	500—1000	10 000 и более	21,5	20,8
------------------	----------------------------------	---	--	---	------------	-----------------------------	----------	----------------	------	------

нице). Месторождение Пикве обрабатывается с 1973 г., Сейлаб подготавливается к эксплуатации. Месторождения Западной Австралии (Камбалда и др.) по содержанию меди очень бедные (в среднем 0,15 %). Подавляющее большинство известных месторождений Зимбабве, ЮАР (бушвельдский комплекс), Финляндии и других стран мелкие. Добыча меди из них незначительная.

Мезозойский возраст имеют месторождения Норильского района (СССР) и некоторые африканские (Инсизва в ЮАР и др.). От группы докембрийских месторождений они отличаются обычным преобладанием меди над никелем (Cu/Ni в среднем около 2).

Для медно-никелевых месторождений характерно преимущественно согласное с вмещающими породами залегание рудных тел, их пласто-, линзо- и жилообразная формы. Руды сплошные и прожилково-вкрапленные с устойчивым минеральным составом — пентландит-халькопирит (кубанит)-пирротиновым. На месторождения медно-никелевого типа приходится 3,6 % добычи меди развитых капиталистических и развивающихся стран. Месторождения обрабатываются как подземным, так и открытым способами. Помимо меди и никеля, из руд извлекаются кобальт, платиноиды, серебро, золото, селен, теллур.

## Железо-медные месторождения в габброидах

Железо-медные месторождения пространственно и генетически связаны с расслоенными массивами основных пород. Позднемагматическое прожилково-вкрапленное медное оруденение тесно ассоциирует с титаномagnetитовым и располагается среди наиболее кислых дифференциатов габброидов, редко переходя во вмещающие породы.

Характерным представителем месторождений рассматриваемого типа является Волковское на Урале, приуроченное к одноименному массиву габброидов, расположенному в пределах платиноносного пояса габбро-перидотитовой формации Урала. Рудоносный массив залегает среди основных эффузивов, относящихся к ордовику — нижнему девону. К этому же типу относится и Чинейское месторождение в Удоканском районе, приуроченное к одноименному массиву габбро-норитов, прорывающему терригенные меденосные отложения удоканской серии нижнего протерозоя.

Небольшие по масштабам железо-медные месторождения в габброидах известны в ЮАР (Мессина, О'Окип). Предположительно к этому же типу относятся месторождение Караиба в Бразилии с запасами меди 1,5 млн. т и ее содержанием в руде 1,0—1,4 %, некоторые месторождения Индии и других стран [4]. Значение их в запасах и добыче меди развитых капиталистических и развивающихся стран незначительное.

Зоны прожилково-вкрапленного железо-медного оруденения, оконтуриваемые по данным опробования, имеют линзообразную или сложную форму. Руды отличаются комплексным составом. Главными минералами меди являются борнит и халькопирит; железа — магнетит, обычно содержащий титан и ванадий, иногда гематит; в подчиненном

количестве встречаются пирит и пирротин; в значительном количестве присутствует апатит.

Помимо меди и железа из руд извлекаются титан, ванадий, фосфор, селен, теллур и другие элементы.

### Карбонатитовые месторождения

Карбонатитовые месторождения тесно связаны с массивами ультраосновных — щелочных пород. Как самостоятельный промышленный тип месторождений меди они оформились в конце 60-х годов в связи с вовлечением в эксплуатацию крупного медьсодержащего карбонатитового месторождения Палабора в ЮАР. Это месторождение представляет собой трубообразное тело размером 0,5—0,7 км в диаметре, прорывающее древние архейские граниты. Центральная часть тела сложена карбонатитами, периферийная — магнетит-оливин-апатитовыми породами (фоскоритами). Медная минерализация приурочена к карбонатитам и представлена прожилками и зонами вкрапленности борнита и халькопирита. В рудах широко развиты титансодержащий магнетит, количество которого достигает 27 %, и апатит. В качестве примеси присутствуют торнит, бабделит, ильменит, пирротин, сфалерит, галенит, пентландит. Трубообразное штокверковое рудное тело прослежено до глубины 900 м, причем его форма, минеральный состав вмещающих пород и руд, а также содержание в них меди практически не изменяются. Запасы месторождения определяются в 2,9 млн. т меди при среднем содержании ее в руде 0,55 %. Месторождение эксплуатируется открытым способом. Производительность карьера 80 тыс. т меди в год. Помимо меди и железа (магнетитового) из руд извлекаются титан, фосфор, уран, торий, золото и серебро.

Примесь меди в карбонатитовых массивах СССР и других стран является обычной, но промышленные ее концентрации не выявлены.

### Скарновые месторождения

Скарновые месторождения меди относятся к группе известковых скарнов и локализуются в экзоконтактах массивов гранодиоритов, плагиогранитов и плагиосиенитов, на границе последних с известняками и известковистыми терригенными породами. Промышленные рудные тела обычно размещаются в зоне экзоскарнов на небольшом (сотни метров) удалении от контактов интрузивных массивов. Форма рудных тел, располагающихся в непосредственном экзоконтакте гранитоидов, обычно сложная, гнездо- и столбообразная, в определенной мере зависящая от конфигурации контактов интрузивных массивов, а локализованных во вмещающих интрузив толщах на границе стратифицированных карбонатных и алюмосиликатных пород — сложная пластообразная.

Медное оруденение имеет наложенный характер и формируется в заключительные этапы или непосредственно после окончания процесса скарнообразования. Руды обычно комплексные железо-медные золото-серебросодержащие. Основные рудные минералы — борнит,

халькопирит, магнетит, пирротин, пирит; второстепенные — арсенопирит, лёллингит, кобальтин, сфалерит, галенит, молибденит, минералы висмута, золота, серебра и др. Возраст оруденения скарнового типа самый разнообразный, преимущественно палеозойский и мезокайнозойский.

В СССР представителями скарнового типа являются месторождения Турьинской группы и Гумешевского на Урале, Саякское в Казахстане, Курутегерекское в Киргизии.

В развитых капиталистических и развивающихся странах месторождения скарнового типа распространены достаточно широко. Они известны в Перу, США, Индонезии, Мавритании, Намибии и многих других странах. Большинство из них характеризуется небольшими размерами — десятки—первые сотни тысяч тонн меди, но встречаются и достаточно крупные объекты: Кобриза (запасы меди 2,2 млн. т, среднее содержание в руде 1,5 %), Антамина (1,3 млн. т, 1,4 %), Тинтайя (1,2 млн. т, 2,1 %) в Перу, Бисби (1,9 млн. т, 1,5 %) в США, Кунунг-Биджи (1,4 млн. т 2,8 %) в Индонезии. На долю скарновых месторождений в развитых капиталистических и развивающихся странах приходится 2 % (9,7 млн. т) общих запасов меди и 3,6 % (210 тыс. т) ее добычи. Среднее содержание меди в рудах 1,85 %. Помимо меди из них извлекаются железо (магнетитовое), золото, серебро, кобальт, селен, теллур, молибден и другие элементы.

Скарновые месторождения эксплуатируются преимущественно подземным способом.

## Меднопорфировые месторождения

Месторождения меднопорфирового типа представляют собой важнейший промышленный тип месторождений, заключающий свыше 65 % запасов меди и обеспечивающий более 50 % ее добычи в развитых капиталистических и развивающихся странах. Большинство новых крупных месторождений меди, открытых в последние 20 лет в указанных странах, принадлежит к этому типу.

Месторождения располагаются в пределах вулканоплутонических поясов, для которых характерно развитие вулканитов андезитодацитового и андезит-липарит-дацитового состава и многофазных плутонов габбро-диорит-гранодиоритовой формации кали-натрового ряда и приурочены к интрузивным штокам продуктивных порфировых фаз.

Основные медно-порфировые провинции располагаются в пределах четырех глобальных металлогенических поясов: Западно-Тихоокеанского, Восточно-Тихоокеанского, Средиземноморского сектора Тетиса и палео-Тетиса [13].

В Западно-Тихоокеанском металлогеническом поясе, совпадающем со складчатыми сооружениями Кордильер и Анд, сосредоточена большая часть месторождений рассматриваемого типа. Они известны на всем протяжении пояса от Аляски до южных районов Чили. Возраст их от юрско-раннемелового до плиоценового. На долю месторождений Западно-Тихоокеанского металлогенического пояса приходится 84 % общих запасов и 84,4 % добычи меди меднопорфирового типа развитых капиталистических и развивающихся стран. Основ-

ная их часть сосредоточена в Канаде, США, Мексике, Панаме, Перу и Чили.

В Канаде месторождения меднопорфирового типа расположены в основном в провинции Британская Колумбия. Наиболее крупные из них Бетлехем (общие запасы 5,7 млн. т меди) и Валли-Коппер (4,3 млн. т). Почти все они выявлены в последние 20 лет, в связи с чем доля этих месторождений в сырьевой базе меди Канады возросла от нуля до 63 %. Запасы меди в них на начало 1981 г. достигли 20,2 млн. т. Содержание меди в рудах отдельных месторождений довольно низкое — 0,33—0,52 % (в среднем 0,45 %), но в них, как правило, в существенных количествах присутствуют молибден (0,01—0,05 %), а также золото и серебро.

В США основная часть меднопорфировых месторождений сосредоточена в западных штатах. Их доля в суммарных запасах меди этой страны в 1961—1980 гг. возросла с 66,2 до 89 %. Прирост запасов меди в рудах этого типа, составивший в указанный период свыше 80 млн. т, был получен за счет разведки (и переоценки) как ранее известных и эксплуатируемых месторождений (Бингем, Моренси, Сан-Мануэл, Инспирейшн, Рей, Нью-Корнелия, Беркли и др.), так и новых (Лейкшор, Диплоу-Грейд, Кэрр-Форк, Каламазу, Меткалф, Саффорд, Флоренс, Ист-Гельвеция, Пинто-Велли, Сьерита и др.). Общие запасы меди в каждом из упомянутых месторождений превышают 1 млн. т, наиболее крупными из них являются Бингем (9,5 млн. т), Сан-Мануэл (8,9), Моренси (6) Диплоу-Грейд (6). Средние содержания меди в рудах новых месторождений (0,62 %) существенно ниже, чем в месторождениях этого типа на начало 1961 г. (0,8 %). Прирост запасов меди на известных эксплуатируемых месторождениях получен как за счет их разведки на флангах и глубину, так и в существенной мере за счет включения в промышленный контур больших объемов бедных руд. В результате среднее содержание меди в меднопорфировых рудах США за период 1961—1980 гг. снизилось с 0,8 до 0,6 %.

В Мексике основные запасы меди заключены в месторождениях Кананеа (11,9 млн. т) и Ла-Каридад (5,3 млн. т). Причем последнее, открытое в 1967 г., в 1980 г. вовлечено в отработку.

В Панаме в 70-х годах также выявлено и разведано несколько объектов меднопорфирового типа. Крупнейшим из них является Серро-Колорадо с запасами металла 12 млн. т в рудах с содержанием 0,7—0,8 % меди, 0,004—0,028 % молибдена и извлекаемыми количествами серебра и золота.

В Перу основными эксплуатируемыми месторождениями меднопорфирового типа являются Куахоне (запасы меди 4,7 млн. т, добыча 140 тыс. т/год) и Токепала (2,3 млн. т и 90 тыс. т/год). За 1961—1980 гг. общие запасы меди в стране в месторождениях этого типа увеличились в 2,9 раза (с 8,9 до 25,4 млн. т). Практически весь прирост запасов меди получен на новых объектах: Санта-Росса (6,4 млн. т), Мичикильйя (4,1), Морокоча (2,7), Торомоча (2,8), Серро-Верде (1,8). Среднее содержание меди в рудах на начало 1981 г. составляло около 0,9 %. Кроме меди в них содержится молибден (0,01—0,03 %).

Чили по общим запасам меди в рудах меднопорфирового типа занимает первое место среди развитых капиталистических и развивающихся стран. За двадцатилетний период (1961—1980 гг.) запасы меди в рудах этого типа в стране увеличились с 42 до 95 млн. т за счет разведки (и переоценки) как ранее известных и эксплуатируемых месторождений (Чукикамата, Эль-Теньенте и др.), так и новых (Эль-Абра, Лос-Пеламбрес, Андаколло, Пампа-Норте и др.). Помимо указанных новых объектов в 70-х годах выявлены и находятся в стадии изучения месторождения Серро-Колорадо, Кебрада-Бланко, Эль-Индио и др. Запасы меди в некоторых из них оцениваются более чем в 1 млн. т, при содержании ее в рудах 0,7—1,2 %. Среднее содержание меди в меднопорфировых рудах Чили за период 1961—1980 гг. снизилось с 1,1 до 0,98 % за счет отработки наиболее богатых руд в эксплуатируемых месторождениях и относительно более бедных руд новых месторождений. Медные руды Чили являются комплексными: помимо меди в них содержатся в извлекаемых количествах молибден (в среднем 0,01—0,03 %), рений, благородные металлы.

Месторождения медно-порфирового типа в пределах Западно-Тихоокеанского металлогенического пояса известны также в Колумбии (Серро-Пантано, Пегадорсито), Эквадоре (Чауча), Аргентине (Пачон, Алумбрера).

Восточно-Тихоокеанский металлогенический пояс включает провинции Юго-Восточной Азии и Океании (Филиппины, Папуа Новая Гвинея, Малайзия, Бирма, Индонезия и др.). Меднопорфировые месторождения этого пояса имеют миоцен-плиоценовый возраст и характеризуются пониженными содержаниями меди (0,4—0,6 %) и повышенными золота (до 0,8 г/т). На их долю приходится 9 % общих запасов и 14 % добычи меди меднопорфирового типа развитых капиталистических и развивающихся стран. Основная их часть сконцентрирована на Филиппинах и в Папуа Новой Гвинее.

На Филиппинах известно свыше 20 месторождений меднопорфирового типа с суммарными запасами меди 17,7 млн. т. Добыча меди из них в 1980 г. составила 300 тыс. т. Большинство месторождений характеризуется средними запасами меди 300—800 тыс. т, но в некоторых месторождениях ее общие запасы превышают 1 млн. т (Тоledo 4,5, Сипалей 3,2, Кармен 1,5, Сан-Антонио 1,1). Содержание меди в рудах составляет 0,4—0,6 %, золота 0,1—0,9 г/т, серебра до 1,5 г/т.

В Папуа Новой Гвинее в 60-х годах выявлен и разведан ряд меднопорфировых месторождений (Пангуна, Яндерра, Фрида-Ривер, Ок-Теди) с суммарными запасами меди 10 млн. т в рудах, содержащих 0,42—0,48 % меди, 0,1—0,8 г/т золота и 1,5—2,0 г/т серебра. Наиболее крупное из них Пангуна (о. Бугенвиль) с запасами меди 4,3 млн. т с 1972 г. эксплуатируется, добыча меди (в концентратах) в 1980 г. составила 147 тыс. т, золота 14 т и серебра 37 т.

В Средиземноморском секторе металлогенического пояса Тетис выделяются три основные меднопорфировые провинции: Балканская, Малокавказская и Ирано-Пакистанская.

В пределах Балканской провинции в 60-х годах выявлены и разведаны месторождения Майданпек, Велики Кривель (СФРЮ), Елаците, Асарел (НРБ) и другие с повышенным содержанием меди и не-

значительным молибдена ( $\text{Cu}/\text{Mo} > 50$ ). Месторождения Малокавказской провинции (Каджаран, Агарак, Джиндаринское), наоборот являются медно-молибденовыми и отличаются пониженной величиной  $\text{Cu}/\text{Mo}$  ( $< 20$ ).

Ирано-Пакистанская меднопорфировая провинция оформилась в качестве самостоятельной металлогенической единицы в связи с выявлением и разведкой месторождений Сар-Чешмех в Иране и Саиндак в Пакистане. Общие запасы меди месторождения Сар-Чешмех составляют 10,2 млн. т при содержании ее в руде 1,2 %, а также молибдена 0,027 %. Месторождение Саиндак беднее — запасы его оцениваются в 300 млн. т руды, содержащей 0,4—0,5 % меди, 0,010—0,024 % молибдена и 0,1—0,5 г/т золота.

Возраст месторождений всех трех провинций Средиземноморского сектора пояса Тетис определяется как раннемиоценовый.

В пределах геоструктур металлогенического пояса палео-Тетиса известны также три меднопорфировые провинции: Джунгаро-Балхашская, объединяющая меднопорфировые месторождения Казахстана — Коунрад, Коксай, Актогай и др., Кураминская включающая Алма-лыкскую группу месторождений Узбекистана, и Орхоно-Селенгинская, расположенная на территории МНР, в пределах которой выявлено крупное месторождение Эрдэнтуин-Обо, отличающееся наличием хорошо выраженной зоны выщелачивания (до 70 м), и вторичного сульфидного обогащения (халькозиновой) с содержанием меди, в три раза превышающим таковое в первичных рудах.

Возраст месторождений Джунгаро-Балхашской и Кураминской провинций средне-верхнекарбонный, Орхоно-Селенгинской — пермоязский.

Помимо указанных выше четырех глобальных металлогенических поясов, меднопорфировые месторождения известны и в пределах обособленных провинций — в герцинидах Зауралья (Денисовская и Валерьяновская зоны), мезозондах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (Алазейско-Олойская зона), третичных структурах Карибского бассейна (месторождения Пуэрто-Рико и Гаити).

В развитых капиталистических и развивающихся странах для меднопорфировых месторождений характерна концентрация основных запасов в крупных объектах. Около 90 % их содержится в 73 учтенных месторождениях с запасами меди свыше 1 млн. т в каждом. Самым крупным из них является Чукикамата в Чили (27,6 млн. т), в 12 месторождениях общие запасы меди превышают 5 млн. т: Эль-Теньенте (19,7) и Эль-Сальвадор (5,6) в Чили, Серро-Колорадо (12,0) в Панаме, Кананеа (11,9) и Ла-Каридад (5,3) в Мексике, Сар-Чешмех (10,2) в Иране, Бингхем (9,5), Сан-Мануэль (8,9), Моренси (6,0) и Диплоу-Грейд (6,0) в США, Санта-Росса (6,4) в Перу, Бетлехем (5,7) в Канаде.

Меднопорфировые месторождения характеризуются штокверковой формой, преимущественно крупными размерами, невысокими содержаниями (0,4—1,2 %) и относительно равномерным пространственным распределением меди, наличием ценных попутных примесей (молибден, рений, золото, серебро), частым развитием зоны вторичного сульфидного обогащения с содержанием меди, в 1,5—3 раза превы-

шающим таковое в первичных рудах, молибденит-халькопирит-пиритовым, халькопирит-пиритовым и халькозиновым (в пределах зоны вторичного обогащения) минеральными типами руд. Большинство меднопорфировых месторождений пригодно для отработки эффективным открытым способом при небольшом коэффициенте вскрыши или высокопроизводительными системами подземной отработки с массовой отбойкой руды.

### Кварцево-сульфидные (жильные) месторождения

Жильные месторождения меди распространены довольно широко и известны во многих странах мира, но крупные их представители встречаются редко. По общей геологической позиции они имеют много общих черт с месторождениями меднопорфирового типа, в строении которых нередко принимают участие в качестве самостоятельного структурного элемента (Чукикамата в Чили). Месторождения залегают обычно в интрузивных или эффузивных породах и четко контролируются разрывными нарушениями. Рудные тела приурочены к одной или нескольким системам трещин и обычно имеют форму жил небольшой протяженности и мощности (от долей до нескольких метров), но нередко мощность жил существенно возрастает за счет включения в их контур вмещающих пород, несущих прожилково-вкрапленное оруденение, представляющее промышленное значение. В случае близкого расположения рудных жил они оконтуриваются совместно, включая и оруденелые вмещающие породы межжильного пространства. Мощность таких жильных зон нередко составляет несколько десятков метров.

Помимо меди в рудах жильных месторождений обычно присутствуют золото и серебро, часто свинец и цинк, висмут, молибден и другие элементы. Основные промышленные типы руд — медный и свинцово-цинково-медный золото-серебросодержащие. Главные рудные минералы — халькопирит, пирит, в существенных количествах могут присутствовать галенит, сфалерит, энаргит, блеклые руды, молибденит, минералы висмута и серебра.

Месторождениями жильного типа являются Кафанское, Чатыркульское, Жайсанское (СССР), Россен, Вырли-Бряг (НРБ), Бьютт (США), Маланджханд (Индия) и др. Возраст их разный — от докембрия до третичного.

В развитых капиталистических и развивающихся странах на долю месторождений этого типа приходится 2,3 % общих запасов и 4,5 % добычи меди. Наиболее крупное из них — Бьютт в США, из которого с начала эксплуатации (1882 г.) уже добыто 9 млн. т меди, свыше 2 млн. т цинка, 400 тыс. т свинца, 20 тыс. т серебра, 80 т золота, а также значительные количества кадмия, висмута, мышьяка, селена и теллура. Оставшиеся запасы месторождения оцениваются в 3 млн. т меди при ее содержании в руде 0,4—4,5 % [26]. Значительные запасы меди заключены и в выявленном в 60-х годах в Индии месторождении Маланджханд (0,9 млн. т при содержании меди в руде 1,3 %).

## Месторождения самородной меди

Месторождения самородной меди в эффузивных и субвулканических телах представляют собой своеобразный тип медной минерализации. Проявления этого типа встречаются довольно часто, но промышленные представители их редки. Они известны в США, Канаде, Чили, Перу, Боливии. Доля их в общих запасах и добыче меди развитых капиталистических и развивающихся стран незначительная. Наиболее крупные месторождения этого типа известны в докембрийских образованиях района оз. Верхнего в США. Они располагаются в пределах узкой (3—6 км) зоны, прослеживающейся на протяжении 120 км. Оруденение приурочено к верхним амигдалоидным частям отдельных лавовых покровов базальтов, составляющим 5—20 % их общего объема, или к конгломератам. Самородная медь с примесью халькозина и самородного серебра вместе с другими вторичными минералами (хлорит, кварц, кальцит, эпидот, ломонтит и др.) выпадает как миндалины, так и поры в цементе брекчий и конгломератов.

Медь обычно образует мелкие зерна, иногда самородки в многие тонны. Оруденелыми являются не все покровы, которых в меденосной толще насчитывается несколько сотен, а только их часть. Самое крупное месторождение Калюмет-Хекла приурочено к горизонту конгломератов. Рудные тела залегают согласно, имеют причудливую в плане форму, но, в общем, близкую к пластовой, длиной по простиранию от нескольких сотен метров до 11 км, по падению — до 2600 м при мощности 0,3—4,5 м. Месторождения в основном отработаны. За время их эксплуатации (1845—1968 гг.) глубина отработки достигла 1600 м [31]. Оставшиеся запасы составляют 500 тыс. т меди при ее содержании в руде 0,8—1,5 %.

В СССР известны лишь небольшие проявления самородной меди в палеогеновых эффузивах Азербайджана, в девонских вулканогенных толщах Центрального Казахстана, а также в Горной Шории.

## Медноколчеданные месторождения

Медноколчеданные месторождения входят в группу колчеданного семейства и располагаются среди вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных образований ранних стадий развития вулканогенных, в меньшей мере терригенных подвижных поясов. В вулканогенных поясах месторождения тесно связаны с раннегеосинклинальными вулканитами двух формаций: контрастной липарит-базальтовой или базальт-липаритовой и непрерывной базальт-андезит-дацит-липаритовой и приурочены главным образом к кислым составляющим этих формаций. В терригенных поясах, в пределах которых вулканы имеют резко подчиненное значение, колчеданные месторождения залегают среди песчано-глинистых и углисто-глинистых отложений [13].

Медноколчеданные месторождения характеризуются преимущественно согласным залеганием с вмещающими вулканогенно-осадочными и терригенными породами, пласто- и линзообразной, реже сложной формой рудных тел, разнообразными, преимущественно мелкими

и средними размерами, сравнительно высокими (1,2—4 %) содержаниями меди, обычным присутствием цинка, нередко свинца, в основном халькопирит-сфалерит-пиритовым минеральным типом руд, сложным вещественным составом — наличием примесей золота, серебра, селена, теллура и других компонентов. Возраст их — от докембрийского до третичного.

По металлогеническим эпохам общие запасы меди в месторождениях медноколчеданного типа распределяются следующим образом, отн. %: докембрий 26,9 нижний палеозой 7,2, средний—верхний палеозой 50, мезо-кайнозой 15,9 [14].

В СССР докембрийские месторождения медноколчеданного типа неизвестны. На нижнепалеозойские месторождения Салаира (Урская группа) и Чингиза (Акбастау, Космурун) приходится 8 % общих запасов меди в месторождениях этого типа, на средне-верхнепалеозойские месторождения Урала (Красноуральская и Левихинская группы, Дегтярское, Учалинское, Гайское, Сибайское, Подольское, Весенне-Аралчинское, 50 лет Октября и др.), Северного Кавказа (Урупская группа) и Алтая (Николаевское, Орловское и др.) — 82,2 %; на мезокайнозойские месторождения Армении (Шамлугское), Грузии (Маднеульское) и Дагестана (Кизил-Дере) 9,8 %.

Медноколчеданные месторождения НРБ (Радка, Красен, Челопеч) и СФРЮ (Бор) имеют мезо-кайнозойский возраст.

В развитых капиталистических и развивающихся странах на докембрийские месторождения, распространенные в Канаде, Австралии, Индии, США и других странах, приходится 51,7 % общих запасов меди медноколчеданного типа, на каледонские месторождения Скандинавских стран 6,3 %, на средне-верхнепалеозойские месторождения Испании, Португалии, Канады, США 20,5 % и мезозойские месторождения Турции, Перу, Кипра, Японии и других стран 21,5 %.

Доля медноколчеданных месторождений в общих запасах меди развитых капиталистических и развивающихся стран на начало 1981 г. составляла 6,3 % (31,3 млн. т), а в добыче меди в 1980 г. — 15,6 % (свыше 900 тыс. т); две трети (20 млн. т) запасов меди этого типа приходится на пять стран — Канаду (5), Австралийский Союз (4,4), Индию (4,3), Испанию (3,8) и Турцию (2,5). Свыше 30 % общих запасов меди этого типа сосредоточено в четырех месторождениях — Маунт-Айза, Австралийский Союз (4,3 млн. т меди с содержанием в руде 3,1 %), Кидд-Крик, Канада (соответственно 3,2 млн. т и 2,8 %), Рио-Тинто, Испания (2 млн. т и 0,7—2,5 %) и Ракха, Индия (1,2 млн. т и 1,3 %).

### **Месторождения медистых песчаников и сланцев**

Месторождения типа медистых песчаников и сланцев, входящие в стратиформную группу, располагаются в краевых частях крупных, наложенных на складчатое основание прогибов и мульд, а также в базальных горизонтах платформенных чехлов, сложенных пестроцветными образованиями прибрежно-морских, лагунных и дельтовых фаций, представленных гравелитами, песчаниками алевролитами, аргиллитами, мергелями.

В месторождениях, характерных для наложенных прогибов и мульд, оруденение обычно многоярусное, проявляется в нескольких стратиграфических горизонтах и не обнаруживает строгой приуроченности к определенным фациям пород. Оно присутствует как в гравелитах и песчаниках, так и в алевролитах, аргиллитах и мергелистых породах, но отсутствует в красноцветных прослоях. Рудные тела имеют пластовую форму, залегают согласно со слоистостью вмещающих пород и испытывают те же изменения условий залегания, что и вмещающие толщи. Длина рудных тел колеблется от сотен метров до нескольких километров, ширина — от нескольких десятков (для лентовидных залежей) до многих сотен метров и первых километров, мощность — от первых единиц до 30 м, иногда более. По времени проявления оруденения типа медистых песчаников и сланцев выделяются два максимума — докембрийский и верхнепалеозойский. Так, нижнепротерозойский возраст имеет Удоканское месторождение (СССР), верхнепротерозойский — месторождения Замбии, Заира и США (Уайт-Пайн), вендский — Афганистана (Айнак), верхнепалеозойский — Джекказганское (СССР).

Месторождения, залегающие в базальных горизонтах платформенных чехлов, отличаются одноярусностью проявления оруденения, приуроченностью его в основном к тонкозернистым глинистым и мергелистым породам, более выдержанной пластовой формой рудных тел, их большой протяженностью по простиранию и падению (длина и ширина до нескольких километров) при небольшой мощности (0,3—3 м). Возраст известных месторождений верхнепалеозойский. Их типичными представителями являются цехштейновые месторождения «медистых сланцев» Мансфельда (ГДР) и Предсудетской моноклинали (ПНР).

Месторождения медистых песчаников и сланцев отличаются устойчивым вещественным и минеральным составом руд. Помимо меди в них обычно присутствует серебро, иногда свинец и цинк, в месторождениях Замбии и Заира — кобальт и уран. Основные рудные минералы — халькозин, борнит, халькопирит, менее распространены пирит, галенит, сфалерит и минералы кобальта. В окисленных рудах — малахит, азурит, хризоколла, куприт.

В развитых капиталистических и развивающихся странах на месторождения типа медистых песчаников и сланцев на начало 1981 г. приходилось 20,2 % (свыше 100 млн. т) общих запасов и 19,6 % (1150 тыс. т) добычи меди. Основные запасы меди в месторождениях этого типа сосредоточены в четырех странах, млн. т: Замбии (54), Заире (36), Афганистане (6,1) и США (3). Небольшие по масштабам месторождения этого типа известны также в Иордании, Марокко, Уганде.

В месторождениях Замбии преобладают сульфидные руды, в Заире около 75 % запасов меди приходится на окисленные и смешанные. Средние содержания меди в месторождениях Замбии составляют 2,3—3,3 %, в них также присутствует кобальт в количестве 0,1—0,4 %. В рудах Заира в среднем содержится 2,1—7,5 % меди, 0,2—1,7 % кобальта, до 2 % цинка, а также серебро, кадмий, германий и платиноиды.

Крупное месторождение медистых песчаников (Айнакское) с запасами меди 6,1 млн. т разведано в 70-х годах в Афганистане. Основную ценность этого месторождения составляет крупная компактная залежь борнитовых руд мощностью до 150 м со средним содержанием меди 2,37 %, окруженная зонами халькопиритовых руд мощностью 10—20 м висячем и до 200 м в лежащем боках со средним содержанием меди 0,82 % [38].

Запасы известных месторождений района оз. Верхнего в США (Уайт-Пайн и др.) оцениваются в 3 млн. т меди при содержании ее в руде 1,0—1,2 %. Добыча меди из них составляет 70—80 тыс. т в год.

На долю 17 крупных месторождений медистых песчаников и сланцев с запасами более 1 млн. т в каждом в развитых капиталистических и развивающихся странах приходится более 60 % запасов меди рассматриваемого типа, в том числе 23 % на долю трех крупнейших месторождений — Камото-Руве (запасы меди 7 млн. т, среднее содержание ее 4,1 %), Дикулуве-Машамбе (7 млн. т и 4,1 %) в Заире и Нчанга (9 млн. т и 3,2 %) в Замбии.

Помимо месторождений охарактеризованных выше геолого-промышленных типов, крупные природные концентрации меди известны в морских железо-марганцевых конкрециях и илах. Морские конкреции наиболее широко распространены в экваториальных зонах Тихого океана на глубине 5—6 км. Диаметр конкреций 2—15 см, в среднем 5 см. Содержание меди в них колеблется в широких пределах от 0,01 до 2,0 %, составляя в среднем около 1 %, кроме того, в них содержится 0,6—1,6 % никеля, 0,1—0,4 % кобальта, 17—35 % марганца и 4—11 % железа. Наиболее перспективными считаются поля конкреций, расположенные в центральной части Тихого океана между западным побережьем Мексики и Гавайскими островами. По ориентировочным расчетам, рентабельность добычи конкреций может быть достигнута только при суммарном содержании меди и никеля не ниже 2,3—2,4 % и плотности конкреций (по сухому весу) не менее 10 кг на 1 м<sup>2</sup> морского дна. Помимо технических трудностей, которые преодолены не полностью, имеются нерешенные вопросы международно-правового порядка.

Наиболее высокие концентрации меди в морских илах выявлены в Красном море во впадине Атлантик II на глубине до 2500 м. Слой илов имеет мощность 100 м. Содержание металлов в обезвоженном иле составляет, в %: меди 1,8, цинка 4,6, олова 1,14, а также серебра 60 г/т и золота 0,6 г/т. Меденосные илы с содержанием меди от 0,3 до 1,3 % известны также в пределах шельфа в прибрежных водах Чили на глубинах 50—200 м вблизи порта Токопилья.

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕДНЫХ РУД

Практически все медные руды комплексные. Они являются источником получения многих попутных компонентов, таких как золото, серебро, молибден, никель, кобальт, платина, палладий, селен, тел-

лур, мышьяк, рений, железо, свинец, цинк, сера, которые по своей ценности нередко могут превышать стоимость основного металла. Например, в США из медных (преимущественно меднопорфировых) месторождений извлекается весь добываемый в стране рений, селен, кадмий, платина, теллур, мышьяк, более 40 % молибдена, серебра и золота, 7 % никеля, 5 % серы, 3 % цинка. В развивающихся странах из медных руд извлекается более 95 % всего добываемого в них молибдена и рения, 80 % кобальта, не менее 1/3 золота, около 15 % серебра.

Попутные компоненты из руд извлекаются на разных стадиях их передела. Свинец-, молибден-, железо- и цинксодержащие минералы отделяются от медных в основном методом селективной флотации на стадии обогащения руд. Золото, серебро, металлы платиновой группы и другие элементы извлекаются из анодных шламов при электролитическом рафинировании меди; кобальт, мышьяк и сера — в процессе плавки руд и концентратов.

Основные геолого-промышленные типы месторождений характеризуются одним или несколькими промышленными типами руд, отличающимися по их вещественному и минеральному составу, определяющему технологические свойства руд. Важнейшие разновидности руд (текстурные, по степени окисленности и др.), требующие, как правило, отдельных схем технологической переработки, выделяются в самостоятельные подтипы. Каждый промышленный тип (подтип) руд характеризуется одним или несколькими наборами главных рудных минералов (минеральными типами руд). Всего выделяется 27 промышленных типов руд, перечисленных ниже. При этом в основные названия промышленных типов руд включены наименования главных рудообразующих элементов, доля каждого из которых в суммарной ценности руд превышает 10 %. Указанные элементы перечисляются в порядке возрастания их ценности в рудах. Важнейшие наиболее характерные попутные компоненты (элементы), доля которых в суммарной ценности руд превышает 3 % (но не более 12 %), указаны после главных компонентов как содержащиеся в рудах. Второстепенные попутные компоненты (элементы), доля которых в суммарной ценности руд менее 3 %, в названиях промышленных типов руд не отражены. После наименования основных и характерных попутных компонентов указывается их принадлежность к определенному геолого-промышленному типу месторождений.

Промышленные типы руд основных геолого-промышленных типов месторождений следующие.

I. Медно-никелевые месторождения: 1) медно-никелевый кобальтсодержащий (а — сплошной и брекчиевидный, б — прожилково-вкрапленный), 2) платиноидно-медно-никелевый кобальтсодержащий (а — сплошной, б — вкрапленный в интрузивных породах, в — прожилково-вкрапленный в осадочно-метаморфических породах).

II. Железо-медные месторождения в габброидах: 3) железо-медный ванадий-титансодержащий в габброидах (а — первичный, б — окисленный и смешанный).

III. Карбонатитовые месторождения: 4) железо-медный карбонатитовый.

IV. Скарновые месторождения: 5) железо-медный золото-серебросодержащий скарновый (а — первичный, б — окисленный и смешанный), 6) золото-медный молибден-серебросодержащий скарновый, 7) свинцово-цинково-медный серебросодержащий скарновый.

V. Меднопорфировые месторождения: 8) молибденово-медный порфировый (а — первичный б — вторичного сульфидного обогащения, в — окисленный и смешанный), 9) молибденово-медный серебро-золотосодержащий порфировый (а — первичный, б — вторичного сульфидного обогащения, в — окисленный и смешанный), 10) медно-молибденовый серебросодержащий порфировый (а — первичный, б — окисленный и смешанный).

VI. Кварцево-сульфидные (жильные) месторождения: 11) медный золото-серебросодержащий жильный (а — первичный, б — окисленный и смешанный), 12) молибденово-медный золото-серебросодержащий жильный (а — первичный, б — окисленный и смешанный), 13) свинцово-цинково-медный золото-серебросодержащий жильный.

VII. Месторождения самородной меди: 14) медный в лавовых покровах и конгломератах.

VIII. Медноколчеданные месторождения: 15) медный колчеданный 16) медный золото-серебросодержащий колчеданный (а — сплошной, б — прожилково-вкрапленный), 17) цинково-медный колчеданный (а — сплошной, б — прожилково-вкрапленный), 18) цинково-медный золото-серебросодержащий колчеданный (а — сплошной, б — прожилково-вкрапленный), 19) медно-цинковый колчеданный (а — сплошной, б — прожилково-вкрапленный), 20) медно-цинковый золото-серебросодержащий колчеданный (а — сплошной, б — прожилково-вкрапленный), 21) свинцово-цинково-медный золото-серебросодержащий колчеданный (а — сплошной б — прожилково-вкрапленный), 22) кобальтово-медный цинксодержащий колчеданный, 23) цинковый медьсодержащий колчеданный, 24) серноколчеданный.

IX. Месторождения медистых песчаников и сланцев: 25) медный серебросодержащий в песчаниках (а — первичный, б — окисленный и смешанный), 26) свинцово-медный серебросодержащий в песчаниках, 27) кобальтово-медный в песчаниках (а — первичный, б — окисленный и смешанный).

Все медьсодержащие руды подвергаются обогащению главным образом методом флотации, с помощью которой перерабатывается около 85 % медных руд. Извлечение меди из руд различных типов колеблется в пределах 50—97 %, содержание ее в концентратах от 15 до 50 % в зависимости от минерального состава руд, а также их структурных и текстурных особенностей. Наиболее высокие содержания меди (до 50 %) характерны для концентратов, получаемых из борнитовых и халькозиновых руд, минимальные — из халькопиритовых. В товарных медных концентратах лимитируются содержания цинка, свинца и молибдена.

## ДИНАМИКА ЗАПАСОВ И ДОБЫЧИ МЕДИ В РАЗВИТЫХ КАПИТАЛИСТИЧЕСКИХ И РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАНАХ. ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА РУД

Минерально-сырьевая база меди развивается быстрыми темпами. За 30-летний период (1951—1980 гг.) общие запасы меди в развитых капиталистических и развивающихся странах возросли с 114,5 до 481,3 млн. т, т. е. более чем в 4,2 раза (рис. 1. а). Основная часть прироста запасов меди приходится на месторождения меднопорфирового типа, доля которых в сырьевой базе меди развитых капиталистических и развивающихся стран, составлявшая 40,5 % в 1951 г. и 35,3 % в 1956 г. возросла до 65,1 % в 1981 г. Общие запасы меди в рудах этого типа за 30 лет увеличились с 46,3 до 313,5 млн. т (в 6,8 раза), в том числе по странам, млн. т: Чили — с 22 до 95, США — с 18 до 89, Перу — с 3 до 25,4, Канада — с 0 до 20,2, Филиппины — с 0,2 до 17,7, Мексика — с 0,2 до 17, Иран — с 0 до 13, Панама — с 0 до 12, Папуа Новая Гвинея — с 0 до 10. Прирост запасов меди в Чили, США, Перу, Мексике и на Филиппинах получен как за счет доразведки (и переоценки) известных и эксплуатируемых месторождений, так и за счет выявления и разведки новых, в основном в 1966—1980 гг. К этому же времени относится и открытие новых месторождений меднопорфирового типа в Канаде, Иране, Панаме и Папуа Новой Гвинее и других странах, где ранее они не были известны.

Общие запасы меди в месторождениях медистых песчаников и сланцев за 1951—1980 гг. возросли в 2,1 раза (с 48,1 до 100 млн. т). Темпы их роста были примерно в 3 раза более низкими, чем в меднопорфировых рудах. Основное увеличение запасов (с 48,1 до 94,1 млн. т) произошло в 50-х годах в связи с разведкой и освоением месторождений Медного пояса Африки (Замбия, Заир). В 60—70-х годах крупных открытий месторождений этого типа в развитых капиталистических и развивающихся странах, за исключением Айнакского месторождения в Афганистане, не было. В связи с этим доля месторождений медистых песчаников и сланцев в сырьевой базе меди этих стран, составлявшая 42,1 % в 1951 г. и 47,6 % в 1956 г., к 1981 г. уменьшилась до 20,8 %.

Запасы меди в месторождениях медноколчеданного типа за 1951—1980 гг. возросли в 3 раза (с 10,7 до 31,3 млн. т), но доля их в общих запасах меди развитых капиталистических и развивающихся стран за этот период снизилась с 9,3 до 6,5 % в связи с более быстрыми темпами роста минерально-сырьевой базы меди за счет месторождений меднопорфирового типа. Наибольшие приросты запасов меди в месторождениях медноколчеданного типа были получены в Австралии, Канаде, Индии и Испании.

Общие запасы меди в месторождениях других типов за 1951—1980 гг. возросли с 9,4 до 36,5 млн. т, или в 3,9 раза, а доля их в сырьевой базе меди развитых капиталистических и развивающихся стран в целом сохранилась примерно на одном уровне (8,2 % в 1951 г. и 7,6 % в 1981 г.).

В перспективе до 2000 г. существенного изменения значения отдельных геолого-промышленных типов месторождений меди в сырье-

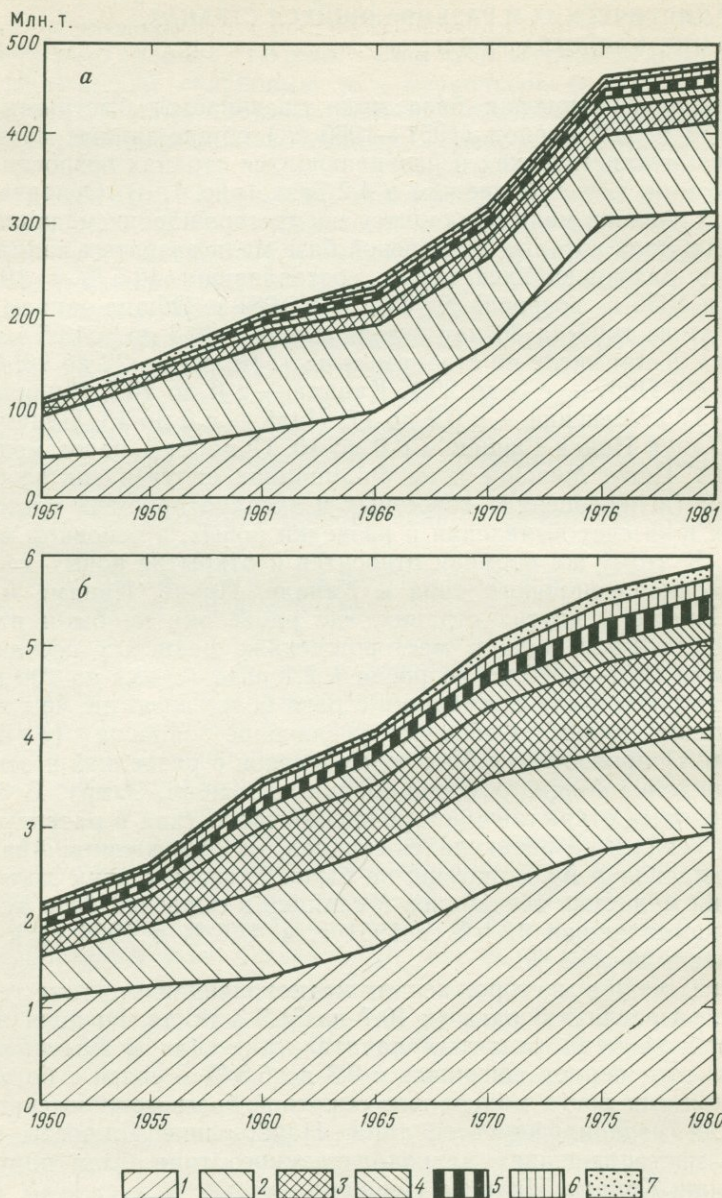


Рис. 1. Динамика общих запасов (а) и добычи (б) меди в развитых капиталистических и развивающихся странах в 1950—1981 гг.

Геолого-промышленные типы месторождений: 1 — меднопорфировый; 2 — медистых песчаников и сланцев; 3 — медноколчеданный; 4 — кварцево-сульфидный (жильный); 5 — скарновый; 6 — медно-никелевый; 7 — прочие

Ресурсы меди в развитых капиталистических и развивающихся странах по оценке Геологической службы и Горного бюро США на начало 1981 г.

Континенты и страны	Содержание	
	млн. т	%
Европа и Ближний Восток	36	3,8
Азия	64	6,7
Африка	109	11,3
В том числе Заир	27	2,8
Замбия	64	6,7
Америка	698	72,6
В том числе США	290	30,2
Канада	109	11,3
Чили	172	17,9
Перу	36	3,7
Австралия и Океания	54	5,6
<b>Итого</b>	<b>961</b>	<b>100,0</b>
В том числе:		
развитые капиталистические страны	433	45,1
развивающиеся страны	528	54,9
Морские конкреции	689	100,0

вой базе меди развитых капиталистических и развивающихся стран не ожидается.

Прогнозные ресурсы меди в развитых капиталистических и развивающихся странах (выявленные условно рентабельные и необнаруженные), по данным Геологической службы и Горного бюро США, на начало 1981 г. оценивались в 961 млн. т (табл. 2). Около 50 % их приходится на необнаруженные объекты, примерно столько же на уже выявленные ресурсы, обработка которых может быть рентабельной в перспективе до 2000 г. [40]. Прогнозные ресурсы приходятся на месторождения, %: меднопорфировые 60, медистых песчаников и сланцев 15, медноколчеданные 10 и на остальные 15.

Кроме того, по тем же данным, около 700 млн. т меди заключено в морских конкрециях Мирового океана с содержанием ее более 1 %. К 2000 г. месторождения морских конкреций и илов могут оформиться в самостоятельный промышленный тип месторождений меди, но доля их в запасах и добыче меди, по-видимому, не превысит 5 %.

Добыча меди (в пересчете на концентраты) в развитых капиталистических и развивающихся странах с 1950 по 1980 г. увеличилась с 2192 до 5882 тыс. т (см. рис. 1, б). Основная часть прироста добычи меди в этот период приходится на известные и новые месторождения меднопорфирового типа в Чили (с 340 до 960 тыс. т), США (с 720 до 950), на Филиппинах (с 10 до 290), в Канаде (с 0 до 220), Папуа Новой Гвинее (с 0 до 147) и Мексике (с 40 до 150). Суммар-

ная добыча меди из месторождений меднопорфирового типа за 1950—1980 гг. в развитых капиталистических и развивающихся странах увеличилась с 1140 тыс. т (52,1 %) до 2970 тыс. т (50,5 %).

Добыча меди из месторождений типа медистых песчаников и сланцев с 480 тыс. т в 1950 г. увеличилась до 1150 тыс. т в 1980 г., но их доля в суммарной добыче развитых капиталистических и развивающихся стран уменьшилась с 22 до 19,6 % в связи с более высоким ростом добычи меди в этот период из месторождений меднопорфирового типа. Медь в основном добывалась из месторождений в Замбии и Заире, в меньшем количестве в США, Уганде, Израиле.

Добыча меди из месторождений медноколчеданного типа с 1950 по 1980 г. возросла в 4 раза (с 220 до 920 тыс. т), а их доля в суммарной добыче развитых капиталистических и развивающихся стран увеличилась с 10,0 до 15,6 %. Основная добыча меди из месторождений этого типа производилась в Канаде и Австралии, в меньшей мере в Японии, Испании, Швеции, Индии и других странах.

Значение в добыче меди месторождений других типов существенно не изменилось (см. рис. 1, б). Некоторое увеличение (с конца 60-х годов) добычи меди из месторождений скарного и прочих типов связано с вовлечением в эксплуатацию крупного скарного месторождения Эртсберг (Кунунг-Биджи) в Индонезии и карбонатитового Палабора в ЮАР.

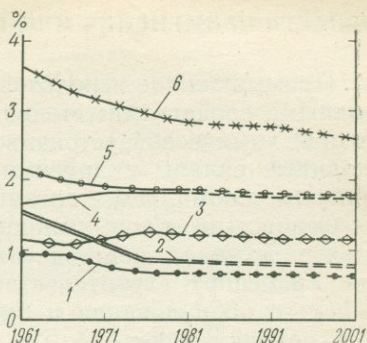
В перспективе до 2000 г. в развитых капиталистических и развивающихся странах ожидается дальнейшее возрастание в добыче меди роли месторождений меднопорфирового типа (до 62 %) при сохранении относительного значения месторождений типа медистых песчаников и сланцев на уровне 18—20 % и уменьшении доли медноколчеданных месторождений до 10 % и других типов до 10 %.

Основные медедобывающие развитые капиталистические страны в перспективе до 2000 г. сохраняют свое значение. Существенный рост добычи меди ожидается в США и Канаде. Он произойдет в основном за счет месторождений меднопорфирового типа, обрабатываемых открытым способом, в связи с чем доля этого способа разработки в общей добыче медной руды в развитых капиталистических странах, по-видимому, превысит 60 %.

Предполагается, что добыча меди в развивающихся странах увеличится за двадцатилетие в 1,9 раза, а их доля в суммарном производстве меди развитых капиталистических и развивающихся стран может достигнуть 60 %. Распределение добычи меди по континентам и важнейшим развивающимся странам — производителям меди к 2000 г. по сравнению с 1980 г., по-видимому, существенно изменится в связи с расширением действующих и строительством новых горнообогатительных предприятий в странах с развитой медедобывающей промышленностью — Чили, Перу, Мексике, Замбии, Заире на Филиппинах, в Папуа Новой Гвинее и Индии, а также организацией добычи в крупных масштабах за счет строительства новых горнодобывающих предприятий в таких странах, как Панама, Иран, Афганистан, Аргентина и Бразилия [29].

Рис. 2. Изменение средних содержаний меди в рудах развитых капиталистических и развивающихся стран за 1961—1983 гг. с прогнозом до 2001 г.

Геолого-промышленные типы месторождений: 1 — меднопорфировый; 2 — все типы (суммарная кривая); 3 — медноколчеданный; 4 — скарновый; 5 — кварцево-сульфидный (жильный); 6 — медистых песчаников и сланцев



Среднее содержание меди в рудах учтенных запасов развитых капиталистических и развивающихся стран в 1961—1980 гг. в целом снизилось с 1,55 до 0,87 %, или почти в 1,8 раза (рис. 2). Это положение обусловлено резким возрастанием в минерально-сырьевой базе меди роли относительно бедных руд меднопорфирового типа и постоянным превышением средних содержаний меди в добываемых рудах над таковыми в учитываемых запасах.

В меднопорфировых рудах содержание меди снизилось с 0,96 до 0,69 %, в месторождениях медистых песчаников и сланцев с 3,64 до 2,85 %, в медноколчеданных и скарновых месторождениях сохранилось примерно на одном уровне, в рудах медно-никелевых и жильных месторождений снизилось в 1,2—1,7 раза (см. рис. 2).

Снижение содержания меди в меднопорфировых рудах развитых капиталистических и развивающихся стран в 1961—1980 гг. связано с вовлечением в промышленное освоение большого количества относительно бедных руд (с содержанием меди 0,4—0,6 %) в США, Канаде, на Филиппинах, в Мексике, Папуа Новой Гвинее и других странах. В частности, в США оно снизилось в среднем с 0,8 до 0,6 %, в Чили — с 1,1 до 0,98 %, в Канаде на начало 1981 г. составляло всего 0,45 %, на Филиппинах и в Папуа Новой Гвинее 0,5 %.

Снижение средних содержаний меди в месторождениях медистых песчаников и сланцев обусловлено главным образом первоочередной отработкой наиболее богатых месторождений или участков.

Средние содержания меди в медноколчеданных рудах сохранились примерно на одном уровне в связи с разведкой и вовлечением в эксплуатацию крупных месторождений меди с богатыми рудами в Австралии — Маунт-Айза (3,1 %) и Канаде — Кидд-Крик (2,8 %).

В перспективе до 2000 г. ожидается, что снижение средних содержаний меди в разрабатываемых месторождениях развитых капиталистических и развивающихся стран будет происходить существенно меньшими темпами в связи со значительной обеспеченностью достигнутого к 1980 г. уровня добычи меди из недр (примерно на 80 лет общими запасами и на 60 лет доказанными) и ожидаемым снижением темпов потребления металла в среднем до 2,8 % в год [29].

## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ МЕДИ

Промышленное использование меди определяется ее ценными природными свойствами: высокой электро- и теплопроводностью, достаточной химической устойчивостью, способностью давать высококачественные сплавы с другими металлами (цинком, никелем, оловом, свинцом, алюминием, марганцем).

Основными областями применения меди и ее сплавов являются: электротехника, средства связи, радио и телевидение, машиностроение, транспорт, строительство, военная техника, изготовление медицинского оборудования и бытовых приборов, художественные изделия, чеканка монет.

Доля потребления меди в 1960 и 1978 гг. составляла соответственно, %: в электротехнической промышленности 54 и 50, в машиностроении 11 и 18, строительстве 16 и 13, транспортном машиностроении 11 и 12, производстве потребительских товаров 8 и 7. В последнее десятилетие появились новые области ее применения: в производстве электромобилей (расход меди на одну машину 45 кг), установок солнечной энергии, стального проката, легированного медью или ее сплавами, железнодорожных рельсов, корпусов судов, прибрежных сооружений и морских платформ для добычи полезных ископаемых, опреснительных установок, гранулированных медьсодержащих инсектицидов и др.

В развитых капиталистических странах в довольно значительных масштабах осуществляется замена ее более дешевыми материалами: алюминием, сталью, пластиками и др. В наибольшей степени медь заменяется в производстве проводов и кабелей (40—90 %), а также теплообменников (за исключением морских). Степень замены меди алюминием по массе в развитых капиталистических странах составляет 23—27 %.

Потребление рафинированной меди в развитых капиталистических и развивающихся странах за 1961—1980 гг. увеличилось с 3,7 до 7,2 млн. т (в 1,9 раза). С учетом меди, используемой в сплавах и соединениях, общее ее потребление за двадцатилетие увеличилось с 5,1 до 9,6 млн. т. Уровень потребления рафинированной меди в развивающихся странах в 1980 г. (0,8 млн. т) был ниже, чем в развитых капиталистических странах в 8 раз по абсолютному значению и в 25 раз в расчете на душу населения.

Основными потребителями меди среди развитых капиталистических стран в 1980 г. являлись (в % от потребления этих стран): США 29, Япония 21, ФРГ 12, Франция 6,8, Великобритания 6,4, Италия 6,1. На их долю приходилось свыше 80 % всей используемой в развитых капиталистических странах меди. Наиболее существенный рост потребления меди за двадцатилетний период достигнут в Японии (в 4,4 раза), Канаде (в 2 раза), Италии (в 2,1 раза), Австралийском Союзе (в 2 раза).

Главными потребителями меди среди развивающихся стран в 1980 г. являлись Бразилия, Мексика, Южная Корея и Индия, суммарное потребление рафинированной меди в которых составило

614 тыс. т, или около 2/3 общего ее потребления в развивающихся странах.

В перспективе до 2000 г. ожидается снижение темпов роста потребления рафинированного металла в развитых капиталистических странах в среднем до 2,7 % в год против 3,1 % в 1960—1980 гг., в том числе первичной меди до 2,5 % в год. В этом случае потребление первичного металла в 2000 г. развитыми капиталистическими и развивающимися странами, а соответственно и его производство составит около 10 млн. т [29]. Рост производства металла до такого уровня в целом удовлетворительно обеспечивается существующей сырьевой базой меди в указанных странах.

*Внешняя торговля и цены.* Несоответствие объемов собственной добычи и ее потребления в большинстве развитых капиталистических и развивающихся стран обусловило большой объем международной торговли этим металлом. Свыше 2/3 производимой в указанных странах меди поступает на мировой рынок. Суммарный экспорт ее за 1960—1980 гг. увеличился в 1,7 раза и достиг в 1980 г. 4840 тыс. т, а импорт соответственно в 2,2 раза и 5120 тыс. т.

В 1980 г. на долю развитых капиталистических стран приходилось около 34 % (1640 тыс. т) экспорта и 94 % (4820 тыс. т) ее импорта. Наиболее крупными экспортерами собственной меди среди развитых капиталистических стран в 1980 г. являлись Канада (641 тыс. т, или 35 % экспорта развитых капиталистических стран), ЮАР (135 тыс. т, 7 %), Австралийский Союз (120 тыс. т, 6 %). Другие страны осуществляли в основном реэкспорт меди. Большинство развитых капиталистических стран Западной Европы и Японии почти полностью зависят от импорта меди. На их долю в 1980 г. приходилось 92 % суммарного импорта меди развитых капиталистических стран. Импорт составил, тыс. т: Японии 1200, ФРГ 1052, Бельгии 510, США 534, Франции 430, Италии 375, Великобритании 346.

Развивающиеся страны, добывающие медь, имеют крайне низкий уровень собственного потребления этого металла и являются, как правило, его экспортерами. Наиболее крупными из них в 1980 г. являлись: Чили (1008 тыс. т, около 34 % экспорта развивающихся стран), Замбия (617 тыс. т, 21 %), Заир (461 тыс. т, 15 %). Перу (352 тыс. т, 12 %). Филиппины (301 тыс. т, 10 %). Основными импортерами — Бразилия (192 тыс. т, 64 %) и Индия (54 тыс. т, 18 %).

В мировой торговле медью важную роль играет Лондонская биржа металлов (ЛБМ), по ценам которой осуществляется подавляющее большинство торговых сделок. В 1960—1980 гг. среднегодовые цены рафинированной меди на ЛБМ колебались в пределах 680—2100 долл. за 1 т и возросли к 1980 г. примерно в 1,5 раза. Постоянный рост цен обусловлен снижением содержания металла в добываемых рудах, инфляцией, а также увеличением глубины обработки месторождений, цен на материалы и энергоносители, затрат на охрану окружающей среды и др. Предполагается, что в связи с возрастанием издержек производства цены на медь к 2000 г. могут превысить 3000 долл. за 1 т.

**СТАДИЙНОСТЬ ПОИСКОВЫХ РАБОТ****СТАДИИ (ПОДСТАДИИ) ГЕОЛОГОПОИСКОВОГО ПРОЦЕССА**

Поисковый процесс в целом охватывает широкий комплекс разнообразных геологоразведочных работ от региональных геологосъемочных и геофизических в масштабах 1 : 200 000—1 : 50 000, охватывающих обширные площади крупных металлогенических провинций (зон), до поисково-оценочных, выполняемых на локальных площадях конкретных рудопоявлений или месторождений. С учетом многолетнего опыта производственных работ он подразделяется на четыре стадии (подстадии): 1) региональные геологосъемочные и геофизические работы; 2) общие поиски; 3) детальные поиски; 4) поисково-оценочные работы.

Каждая из указанных стадий (подстадий) имеет свой предмет исследований, свои методы, задачи и конечные цели. От стадии к стадии уменьшаются размеры изучаемых объектов (площадей), увеличиваются масштаб и детальность исследований. Работы всех стадий завершаются прогнозными исследованиями с количественной оценкой прогнозных ресурсов изученных площадей (объектов). Положительные результаты этой оценки являются обязательным условием для перехода к более детальным работам последующих стадий. Перед началом каждой стадии работ проводятся предпроектные прогнозные исследования, включающие анализ всех имеющихся данных по вовлекаемой в поисковые работы территории, выделение наиболее перспективных участков (структур) для постановки работ, определение методики, видов и объемов поисковых работ, рациональной последовательности их проведения, необходимых затрат.

**ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ КАТЕГОРИЗАЦИЯ**

Прогнозные ресурсы, в отличие от разведанных и предварительно оцененных запасов категорий А, В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub>, оцениваются без пространственной геометризации рудных тел на планах и разрезах. Они определяются для оценки общих перспектив потенциально рудных районов, рудных узлов и полей, отдельных месторождений на основании их геологического изучения, благоприятных поисковых предпосылок и признаков и по аналогии с известными месторождениями. К прогнозным относятся ресурсы, использование которых целесообразно при существующей или осваиваемой прогрессивной разведочной и горнодобывающей технике и технологии переработки сырья. При соответствующем обосновании могут учитываться прогнозные ресурсы, отвечающие по своему качеству забалансовым рудам или рудам, для которых пока не разработана достаточно эффективная технология обогащения, а также прогнозные ресурсы, расположенные за пределами нижней, экономически обоснованной границы отработки.

Прогнозные ресурсы определяются отдельно для каждого геолого-промышленного типа месторождений с оценкой вероятных разме-

ров месторождений, диапазона средних содержаний основных компонентов, интервалов и глубин распространения, а также других возможных характеристик.

В зависимости от степени изученности прогнозные ресурсы подразделяются на три категории:  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$ .

К категории  $P_1$  относятся прогнозные ресурсы разведанных и разведываемых месторождений, а также новых месторождений, на которых проведены поисково-оценочные работы. Прогнозные ресурсы кат.  $P_1$  определяют возможность прироста запасов в результате увеличения размеров известных рудных тел за контуры подсчета запасов кат.  $C_2$  или возможного выявления новых рудных тел как непосредственно на площадях известных месторождений, захваченных разведочными работами, на их флангах и глубоких горизонтах, так и на примыкающих к этим месторождениям перспективных по комплексу признаков участках рудного поля. Обоснованием ресурсов этой категории служат представления о геолого-промышленном типе месторождения, его генезисе, а также геологическая экстраполяция имеющихся по более изученной части месторождения данных о качестве руд, форме и строении рудных тел, структурных условиях их нахождения, литолого-стратиграфических и петрографических предпосылках, определяющих площади и глубины распространения промышленной рудности.

Прогнозные ресурсы кат.  $P_1$ , оцениваемые при поисково-оценочных работах, совместно с запасами кат.  $C_2$  служат для обоснования выбора объектов для постановки предварительной разведки, а подсчитываемые при предварительной и детальной разведке — для планирования геологоразведочных работ с приростом запасов кат.  $C_2$ .

Среди прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  следует различать ресурсы, заключенные в месторождениях, отличающихся по степени освоенности: а) эксплуатируемых; б) разведанных и разведываемых; в) новых, положительно оцененных при поисково-оценочных работах и рекомендованных для предварительной разведки.

Прогнозные ресурсы кат.  $P_1$  по эксплуатируемым месторождениям, оцененные сверх учтенных балансовых запасов кат.  $C_2$ , после соответствующего их изучения и разведки без больших затрат средств и времени могут быть освоены действующими горнорудными предприятиями. Они являются резервом этих предприятий и, в зависимости от состояния их сырьевой базы, могут быть вовлечены в разведку и освоены в ближайшие годы или более отдаленные сроки.

Прогнозные ресурсы кат.  $P_1$  по разведанным и разведываемым месторождениям в основном являются резервом будущих горнорудных предприятий. Вовлечение их в изучение и разведку наиболее вероятно после начала эксплуатации этих месторождений, кроме объектов, находящихся в предварительной разведке и характеризующихся большим значением соотношения прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  и запасов кат.  $C_2$ . На последних месторождениях они определяют возможность получения дополнительных приростов запасов кат.  $C_2$  и более высоких.

Прогнозные ресурсы кат.  $P_1$  по новым месторождениям, положительно оцененным при поисково-оценочных работах, определяют воз-

возможности получения по ним приростов запасов кат.  $C_2$  и более высоких. Они отражают состояние поискового задела для постановки разведочных работ и должны использоваться при их текущем и перспективном планировании.

К категории  $P_2$  относятся прогнозные ресурсы по новым рудным полям, прогнозируемым в известных рудных районах, в пределах которых возможно открытие новых месторождений, наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при общих и детальных поисках или при геологической съемке в масштабе 1 : 50 000 рудопроявлений, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены вскрытием в единичных выработках. Для оценки масштабов предполагаемых месторождений, суждений о форме и размерах рудных тел и качестве руд используется аналогия с известными месторождениями того же геолого-промышленного типа.

Прогнозные ресурсы кат.  $P_2$  являются основой задания на проведение поисково-оценочных работ на перспективных объектах с подсчетом их общих возможных запасов по категориям  $P_1$  и  $C_2$ .

Среди прогнозных ресурсов кат.  $P_2$  должны различаться ресурсы, приходящиеся на рудные поля в известных освоенных и новых районах. Минимальные требования к количеству и качеству прогнозных ресурсов в последних существенно выше, чем в освоенных. Кроме того, прогнозные ресурсы освоенных районов подлежат первоочередному более детальному изучению.

По категории  $P_3$  квалифицируются прогнозные ресурсы, оцениваемые по новым потенциальным рудным районам, прогнозируемым как в известных металлогенических зонах (с ранее выявленными промышленно значимыми рудными районами) и на их продолжении, так и в новых зонах. Новые потенциальные рудные районы прогнозируются на основании благоприятных стратиграфических, литологических, тектонических, палеогеографических предпосылок, выявленных при проведении в оцениваемом районе средне- и мелкомасштабных геологических съемок, прогнозно-металлогенических, геофизических, геохимических исследований, дешифрирования космических снимков, а также при обработке результатов геоморфологических съемок.

Прогнозные ресурсы кат.  $P_3$  служат обоснованием для планирования общих и детальных поисков с целью выявления потенциально перспективных рудных полей и оценки их прогнозных ресурсов по кат.  $P_2$ .

Достоверность оценок прогнозных ресурсов в основном зависит от надежности геологических предпосылок и признаков, положенных в основу прогноза и разрабатываемых для каждого геолого-промышленного типа месторождений и конкретных площадей. Относительная достоверность оценок прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  может рассматриваться наиболее высокой, кат.  $P_2$  — более низкой, а кат.  $P_3$  — наименее аргументированной.

При оценке прогнозных ресурсов отдельных месторождений, рудных полей и районов используется разнообразный комплекс приемов — от прямых расчетов до условных экспертных оценок. Методы оценки прогнозных ресурсов выбираются применительно к конкрет-

ным геолого-промышленным типам месторождений с учетом объема имеющихся фактических данных о прогнозируемых объектах.

Расчет прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  следует производить, исходя из параметров установленных рудных тел или предполагаемых рудовмещающих структур, зон гидротермально измененных пород, геофизических и геохимических аномалий. В последних двух случаях рудная природа аномалий должна быть обоснована материалами по уже выявленным объектам с соответствующей оценкой возможной рудоносности. Должны учитываться также степень эродированности объектов и плотность сети поисковых и поисково-оценочных выработок, ограничивающая размеры «пропущенных» или нескрытых рудных тел, а также данные по имеющимся проявлениям оруденения прогнозируемого типа. Для оценки прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  допустимо применение и метода аналогий в варианте расчета продуктивности (металлоносности) геологических тел — носителей оруденения, который широко используется для оценки прогнозных ресурсов категорий  $P_2$  и  $P_3$ . При этом металлоносность продуктивных геологических формаций или их составляющих, установленная расчетом для известных рудных районов, полей или участков, распространяется на площади выделяемых новых районов, полей или участков с поправочным коэффициентом на различные уровни изученности. Причем определять его величину следует без учета запасов по особо крупным объектам, вероятность обнаружения которых в новом рудном районе (поле) невелика.

Объективной основой метода аналогии в варианте расчета продуктивности, в частности для месторождений медноколчеданного типа, является их постоянно наблюдаемое нахождение в определенных формациях при ассоциации со специфическими дифференциатами либо группами дифференциатов, составляющих такие формации.

Эта закономерность, как показал анализ 34 детально изученных рудных полей Южного Урала, Среднего Урала и миоценового «региона зеленых туфов» Японии [12], имеет количественное выражение. В частности, доля площадей рудных районов от площадей колчеданосных зон составляет от 7 до 25 %, а доля рудных полей в площадях рудных районов колеблется от 25 до 45 %. При этом на Урале значения металлоносности рудных районов разного типа отличаются друг от друга в среднем на 8—10 %, а рудных полей на 10—15 %. Отсюда определяется возможность решения обратной задачи, т. е. определения прогнозных ресурсов через металлоносность (продуктивность).

Основу таких оценок составляет распространение продуктивности колчеданосных формаций и их составляющих, рассчитанной для известных зон, районов и рудных полей, на соответствующие категории перспективных площадей, выделяемых при прогнозе. Необходимым условием использования такого приема является однотипность сопоставляемых известных и новых площадей соответствующих рангов.

Металлоносность известных металлогенических категорий  $m_1$  рассчитывается нормированием суммы запасов (учтенных и погашенных) и учтенных прогнозных ресурсов  $M_1$  на площадь  $S_1$ :  $m_1 = M_1/S_1$ .

При этом площадь колчеданосных формаций в случае их крутонаклонного залегания определяется в проекциях на вертикальную плоскость.

Ресурсы новых площадей  $M_2$  определяются через их значения  $S_2$  и металлоносность аналогичных известных площадей  $m_1$  с введением поправочного коэффициента:  $M_2 = K \cdot m_1 S_2$ . Значение  $K$  принимается равным 0,5. В то же время оно может быть получено расчетом, при котором часть известных в зоне (районе) запасов  $M_3$ , находящихся на площади  $S_3$ , условно рассматривается как неустановленные, а на площадь  $S_3$  распространяется металлоносность остальной части зоны (района) с оценкой предполагаемых ресурсов:  $M_4 = m_2 \cdot S_3$ .

Сравнение учтенных на площади  $S_3$  запасов с полученными таким расчетом ресурсами позволяет получить значение поправочного коэффициента:  $K = M_3 : M_4$ .

На базе выявленных прогнозных ресурсов эффективность проведенных работ может оцениваться не только в затратах на установление прогнозной площади того или иного ранга, но и в затратах на 1 т полученных прогнозных ресурсов соответствующих категорий.

### ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ ПО СТАДИЯМ (ПОДСТАДИЯМ) И ПОРЯДОК ИХ ПРОВЕДЕНИЯ

Основной задачей исследований на стадии региональных геологосъемочных и геофизических работ является региональное прогнозирование, обеспечивающее выделение потенциальных рудных районов, перспективных на главные геолого-промышленные типы месторождений. Для меди — это медно-никелевый, меднопорфировый, медноколчеданный и медистых песчаников и сланцев. На этой стадии, включающей региональные геофизические и геологосъемочные работы в масштабе 1 : 200 000, а также геологическую съемку в масштабе 1 : 50 000, должны быть получены общие сведения о геологическом строении крупных геологических регионов и закономерностях размещения в их пределах полезных ископаемых, выделены потенциальные рудные районы определенного металлогенического профиля, составлены региональные прогнозно-металлогенические карты и произведена оценка прогнозных ресурсов перспективных районов по категории  $P_3$ .

На стадии общих поисков основной задачей является получение данных, необходимых для выделения в пределах перспективных рудных районов потенциальных рудных полей, и при благоприятных условиях непосредственное обнаружение рудопроявлений. Работы этой стадии, выполняемые только на площадях, по которым на предыдущей стадии определены прогнозные ресурсы кат.  $P_3$ , включают геологическое доизучение потенциальных рудных районов, в том числе специализированное и глубинное геолого-геофизическое картирование в масштабах 1 : 50 000—1 : 25 000, создание структурно-формационной основы для поисков месторождений ведущих геолого-промышленных типов, выявление перспективно-рудоносных структур, магматических комплексов, литологических фаций либо петрографических разновидностей пород и т. д., непосредственное обнаружение проявлений

полезных ископаемых, геофизических и геохимических аномалий, интерпретируемых как рудные, и других прямых поисковых признаков, позволяющих приближенно оконтурить потенциальные рудные поля.

При положительных результатах работ прогнозные ресурсы выделенных и оконтуренных потенциальных рудных полей переводятся из кат.  $P_3$  в кат.  $P_2$ , а выявленные рудопроявления и перспективно-рудноносные геохимические и геофизические аномалии передаются для постановки поисково-оценочных работ.

Если при общих поисках перспективность потенциальных рудных районов подтверждена, но в силу их сложного геологического строения или по другим причинам (слепое залегание прогнозируемого оруденения и др.) не удается получить прямые рудные пересечения и другие данные, необходимые для приближенного оконтуривания и оценки потенциальных рудных полей, при детальности работ в масштабах  $1 : 50\,000$ — $1 : 25\,000$  прогнозные ресурсы кат.  $P_3$  потенциально-рудного района в кат.  $P_2$  не переводятся, а полученные данные служат основанием для постановки на перспективной площади более детальных поисковых работ в масштабах  $1 : 10\,000$ — $1 : 5\,000$  стадии детальных поисков с применением соответствующих объемов геофизических, геохимических, горных и буровых работ.

При отрицательных результатах работ стадии общих поисков прогнозные ресурсы кат.  $P_3$  по опоскованной площади снимаются с учета как неподтвердившиеся, и дальнейшие работы в ее пределах прекращаются.

Поисковые работы стадии детальных поисков преследуют цель непосредственного обнаружения проявлений полезных ископаемых. Они выполняются в масштабах  $1 : 10\,000$ — $1 : 5\,000$  на площадях, перспективность которых подтверждена на стадии общих поисков, однако в силу их сложного геологического строения или глубокого залегания предполагаемых рудных тел непосредственных рудных пересечений не получено.

Детальные поиски могут проводиться также в районах известных разрабатываемых или разведанных месторождений разных геолого-промышленных типов, в том числе и второстепенных, с целью обнаружения новых потенциально рудоносных участков (включая глубоко залегающие) и изучения возможности расширения сырьевой базы действующих или намечаемых к строительству горнодобывающих предприятий.

Работы этой стадии могут проводиться и в рудных полях положительно оцененных или разведываемых месторождений второстепенных геолого-промышленных типов, выявляемых попутно при общих поисках на ведущие их типы или другие виды полезных ископаемых.

При положительных результатах работ стадии детальных поисков прогнозные ресурсы кат.  $P_3$  по изученной площади переводятся в кат.  $P_2$ , а выявленные перспективные рудопроявления, геофизические и геохимические аномалии передаются для постановки поисково-оценочных работ. По наиболее перспективным рудопроявлениям, промышленное значение которых достаточно вероятно, могут определяться прогнозные ресурсы кат.  $P_1$ .

При отрицательных результатах работ стадии детальных поисков прогнозные ресурсы кат.  $P_3$  по изученной части потенциального рудного района с учета снимаются, а по рудному району в целом переоцениваются на основании полученных дополнительных данных.

Работы поисково-оценочной стадии организуются с целью первоначальной оценки выявленных на стадиях общих или детальных поисков проявлений полезных ископаемых либо потенциально рудоносных геофизических и геохимических аномалий и выбора среди них объектов, заслуживающих постановки предварительной разведки. Они выполняются на участках, положительно оцененных при общих или детальных поисках, по которым определены прогнозные ресурсы кат.  $P_2$ . Работы проводятся при помощи поверхностных горных выработок и буровых скважин с широким использованием геофизических и геохимических методов, позволяющих приближенно наметить общие границы месторождения, установить принадлежность его к определенному геолого-промышленному типу, выявить наиболее крупные рудные тела и оценить их возможные параметры: размеры, морфологию, условия залегания, качество руд.

Приближенная оценка выявленных рудопроявлений производится по оценочным (браковочным) кондициям. По положительно оцененным объектам подсчитываются прогнозные ресурсы кат.  $P_1$ , а по наиболее изученной их части — предварительно оцененные запасы кат.  $C_2$ , которые учитываются в качестве обоснования для составления технико-экономических соображений (ТЭС) о возможном промышленном значении выявленных месторождений, планировании более детальных работ стадии предварительной разведки и получения приростов запасов категорий  $C_2$  и  $C_1$ .

Объекты, не удовлетворяющие требованиям оценочных кондиций, бракуются. Ранее определенные по потенциальному рудному полю прогнозные ресурсы кат.  $P_2$  переоцениваются, а соответствующая их часть (по положительно оцененным объектам) переводится в кат.  $P_1$  (отчасти учитывается в качестве запасов кат.  $C_2$ ).

#### **ПОРЯДОК СОСТАВЛЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СООБРАЖЕНИЙ О ВОЗМОЖНОМ ПРОМЫШЛЕННОМ ЗНАЧЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

По всем выявленным потенциальным месторождениям, положительно оцененным на стадии поисково-оценочных работ, составляются ТЭС, содержащие обоснование возможного промышленного значения и целесообразности предварительной разведки этих месторождений.

ТЭС составляются на основе оцененных на стадии поисково-оценочных работ запасов кат.  $C_2$  и прогнозных ресурсов кат.  $P_1$  с использованием для ориентировочного определения основных оценочных параметров (себестоимость разведки, добычи и переработки руды и др.) оценочных (браковочных) кондиций и укрупненных расчетов по аналогии с известными разведанными и разрабатываемыми месторождениями того же геолого-промышленного типа, скорректированных с учетом географо-экономических условий нахождения выяв-

ленных объектов, их конкретных геологических особенностей и горно-технических условий залегания.

В ТЭС должны быть отражены:

- географо-экономические условия района месторождения;
- краткие сведения о проведенных в его пределах геологосъемочных, поисковых и заверочных работах, обеспечивших выявление месторождения с указанием количества принятых для обоснования постановки поисково-оценочных работ прогнозных ресурсов кат.  $P_2$ ;
- основные особенности геологического строения месторождения; его геолого-промышленный тип; размеры, морфология и условия залегания рудных тел; минеральный и вещественный состав руд, средние содержания основных и важнейших попутных компонентов;
- группа месторождения по сложности разведки; гидрогеологические и горнотехнические условия нахождения;
- данные, определяющие предполагаемые способы добычи и переработки руд и возможное извлечение полезных компонентов;
- сведения о методике, объемах и затратах на поисково-оценочные работы;
- запасы кат.  $C_2$  и прогнозные ресурсы кат.  $P_1$ , учтенные для обоснования возможной производительности предприятия; предполагаемые средние содержания основных и попутных компонентов в добываемых рудах; объемы товарной продукции; принятые в расчетах оптовые цены;
- выбор и характеристику эксплуатируемых или детально разведанных месторождений — аналогов, принятых в качестве эталонов при определении технико-экономических показателей оценки исследуемого объекта (себестоимость добычи и переработки руды, необходимые капиталовложения в строительство горно-обогатительного предприятия, себестоимость товарной продукции, показатели возможной рентабельности отработки месторождения и окупаемости капиталовложений);
- сопоставление возможных основных показателей освоения месторождения с аналогичными показателями разрабатываемых или детально разведанных месторождений того же вида полезного ископаемого.

На основе выполненных исследований составляется заключение о возможном промышленном значении выявленного объекта. Учитывая условность полученных технико-экономических показателей освоения месторождения, они используются только для ранжирования первоочередности вовлечения в предварительную разведку того или иного объекта. Приводятся соображения о целесообразных методах предварительной разведки месторождения и возможных параметрах временных кондиций.

К объяснительной записке ТЭС должны быть приложены необходимые планы и разрезы, отражающие предполагаемые контуры рудных тел и положение всех разведочных выработок, вскрывших и оконтуривающих оруденение, а также графические приложения, иллюстрирующие горнотехнические условия отработки месторождения.

## ПОИСКИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

#### Типы никеленосных провинций и никеленосные комплексы

Медно-никелевые месторождения ассоциируют с базит-гипербазитовыми породами и приурочены к активизированным частям платформ и щитов. Они представлены вкрапленными и массивными халькопирит-пентландит-пирротиновыми рудами в придонных и средних частях базит-гипербазитовых тел, составляющих особый ( $MgO\ 8\div 30\%$ )\* мезомафический (коматиитовый) сульфидоносный тип магматических образований, который занимает промежуточное положение между бессульфидными мафическими ( $MgO\leq 8\%$ ) и бессульфидными ультрамафическими ( $MgO>30\%$ ) разностями мафит-ультрамафитового ряда.

Выделяются два типа сульфидно-никеленосных провинций, определяющихся степенью дислоцированности и уровнем денудации никеленосной магматической формации: провинции недислоцированных и дислоцированных областей, каждая из которых включает слабо-, умеренно- и глубокоэродированные площади.

Провинции недислоцированных областей представляют палеозойские и мезозойские трапповые образования Сибирской, Южно-Африканской и Китайской платформ.

Провинции дислоцированных областей в большинстве своем сложены архейскими и протерозойскими образованиями, представленными зеленокаменными поясами Канады, Западной Австралии и Южной Африки; наложенными осадочно-вулканогенными прогибами и трогами печенгского типа; группами небольших ультраосновных тел Аллареченского района; средними и крупными стратифицированными интрузивными комплексами мончегорского, бушвельдского и садберского типов, которые составляют Северо-Американскую, Западно-Австралийскую, Южно-Африканскую и Карело-Кольскую никеленосные провинции.

Устанавливается значительное сходство в составе и строении никеленосных комплексов различных периодов развития земной коры. Это позволяет допускать существование специфического и однотипного режима проявления никеленосного магматизма, а наблюдаемые различия объяснять разными уровнями эрозионного среза и различной степенью последующих преобразований никеленосных провинций, что согласуется с выводами В. И. Смирнова о консервативности магматизма и связанного с ним оруденения всех металлогенических эпох от архея до кайнозоя.

Генетически медно-никелевые месторождения связаны с мафит-мезомафической сульфидно-никеленосной магматической формацией

\* Здесь и далее содержание  $MgO$  приведено в массовых долях.

(MgO 8÷30 %), которая свойственна континентальному (а не океаническому или островодужному) типу магматизма, состоит из более ранней безрудной мафической (MgO ≤ 8 %) и более поздней рудоносной мезомафической коматинитовой (MgO 8÷30 %) частей.

Мафические (безрудные) части формации по объему резко превышают рудоносные мезомафические. Состав мафических продуктов в неизменном (исходном) состоянии приближается к составу толеитового базальта, но вследствие дифференциации этих магм в разрезе мафической составляющей находятся породы различного состава. Дифференциация толеитовой магмы, осуществляемая на пути ее подъема, приводит, в частности, к образованию пикритовых, оливиновых, высокоглиноземистых и обогащенных титаном и щелочами разновидностей пород, представленных как эффузивной, так и интрузивной фациями. Контаминация коровыми породами обуславливает появление в разрезе никеленосных структур магматических образований среднего и кислого состава.

Мезомафическая (рудоносная) часть формации и связанные с ней медно-никелевые месторождения делятся на три разновидности: а) относительно низкотемпературные маломagneзиальные (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 8÷10 %), несущие богатые медью (по отношению к никелю) сульфиды [Ni : Cu = 1 : (2,5÷4); δ<sup>34</sup>S<sub>ср</sub> = +(12÷14) ‰; месторождения комплекса Дулут, сульфидоносные интрузии курейского комплекса Сибирской платформы]; б) среднетемпературные умеренно магнезиальные (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 10÷15 %), характеризующиеся медистым (промежуточным) составом сульфидов [Ni : Cu = 1 : (1,2÷2,5); δ<sup>34</sup>S<sub>ср</sub> = +(8÷10) ‰; месторождения Норильского района]; в) высокотемпературные магнезиальные (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 15÷30 %), содержащие бедные медью и богатые никелем сульфиды [Ni : Cu = (1—10) : 1; δ<sup>34</sup>S<sub>ср</sub> = +(1÷4) ‰; месторождения Кольского полуострова, Канады, Австралии, Африки] и подразделяющиеся на обедненные [Ni : Cu = (1—2) : 1; MgO 15—20 %], умеренно бедные [Ni : Cu = (2÷4) : 1; MgO 20÷25 %], бедные и весьма бедные [Ni : Cu = (4÷10) : 1; MgO 25÷30 %] медью разности. Каждая из перечисленных разновидностей выражена определенным набором пород, образование которых обусловлено глубинной и внутрикамерной дифференциацией мезомафических магм.

Выделяется семь рудно-петрографических ассоциаций, с каждой из которых связан определенный тип медно-никелевых месторождений: 1) габбро-троктолитовая (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 8÷10 %), несущая богатые медью сульфиды [Ni : Cu = 1 : (2,5÷4)] и формирующая месторождения дулутского типа; 2) габбро-долеритовая (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 10÷15 %), содержащая медистые сульфиды [Ni : Cu = 1 : 1,2÷2,5] и образующая месторождения норильского типа; 3) габбро-норит-пироксенит-перидотитовая (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 15—20 %), несущая обедненные медью сульфиды [Ni : Cu = (1÷2) : 1] и формирующая месторождения мончегорско-бушвельдского типа; 4) габбро-пироксенит-перидотитовая (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 20÷25 %) с умеренно бедными медью сульфидами [Ni : Cu = (2÷4) : 1], образующая месторождения печенгского типа; 5) пироксенит-перидотитовая (MgO<sub>ср. в.зв</sub> 25÷28 %; 20—45 %) с бедными медью сульфидами [Ni : Cu = (4÷20) : 1], формирующая место-

рождения камбалдинского типа; 6) перидотит-дунитовая ( $MgO_{\text{ср. в.зв}} 28 \div 33 \%$ ) с весьма бедными медью сульфидами [ $Ni : Cu = (20 \div 60) : 1$ ], образующая месторождения маунткейтского типа; 7) диорит-норитовая ( $MgO_{\text{ср. в.зв}} 2 \div 4 \%$ ) с обедненными и бедными медью сульфидами [ $Ni : Cu = (1 \div 2) : 1$ ], формирующая магматически регенерированные (за счет перетолжения ранее образованных руд перечисленных выше ассоциаций) месторождения садберского типа, характеризующегося незакономерным соотношением состава сульфидов с составом ассоциирующих магматических пород.

Никеленосная формация образует эффузивно-интрузивные и чисто интрузивные магматические комплексы, характер проявления которых зависит от степени их дислоцированности и уровня денудации.

Эффузивно-интрузивные комплексы (рис. 3, а—в) образованы осадочно-вулканогенными и интрузивными породами, выполняющими наложенные континентальные прогибы и трюги. Основная часть прогибов сложена эффузивными породами мафического (базальтоидного) состава и комагматичными им интрузиями. Рудоносные мезомафические образования проявляются в виде протяженных магматических тел (колонн) неоднородного (эшелонированного) строения, выраженного в чередовании интервалов, обедненных и обогащенных магнием, хромом и сульфидами составляющих медно-никелевые месторождения.

На глубинах 3—5 км от поверхности (на период внедрения сульфидоносных магматических масс), в интервале 500—1000 м, представляющем «критический» горизонт внедрения, рудоносные интрузии (колонны) занимают межформационные границы осадочно-вулканогенного прогиба, образуя полого залегающие протяженные тела стратифицированного строения. В придонных частях обогащенных рудным веществом интервалов колонн концентрируются вкрапленные и массивные залежи медно-никелевых руд.

На более глубоких горизонтах рудоносные тела приурочиваются к тектонически нарушенным зонам, имеют крутое залегание и сопровождаются в основном вкрапленным оруденением (см. рис. 3, а).

В процессе складчатых дислокаций рудоносные магматические колонны расчленяются на отдельные небольшие тела, обогащенные рудным веществом (медно-никелевые руды) или обедненные им — безрудные и слаборудоносные (см. рис. 3, б, в).

Кроме относительно небольших рудоносных тел эффузивно-интрузивные комплексы формируют крупные стратифицированные рудоносные интрузивные массивы типа Мончегерского и Дулутского плутонов, размещающихся на границе вулканогенных прогибов и подстилающих метаморфических пород (см. рис. 3, в). Интрузивы такого типа образуются за счет сульфидоносных мезомафических магм после поступления к земной поверхности мафических продуктов, выполняющих прогибы. В этих месторождениях в основном преобладает вкрапленная минерализация при небольшом развитии сравнительно маломощных сульфидных жил.

Интрузивные комплексы представлены крупными магматическими плутонами бушвельдского типа (см. рис. 3, г). По составу и очередности внедрения магматических масс интрузивные комплексы подоб-

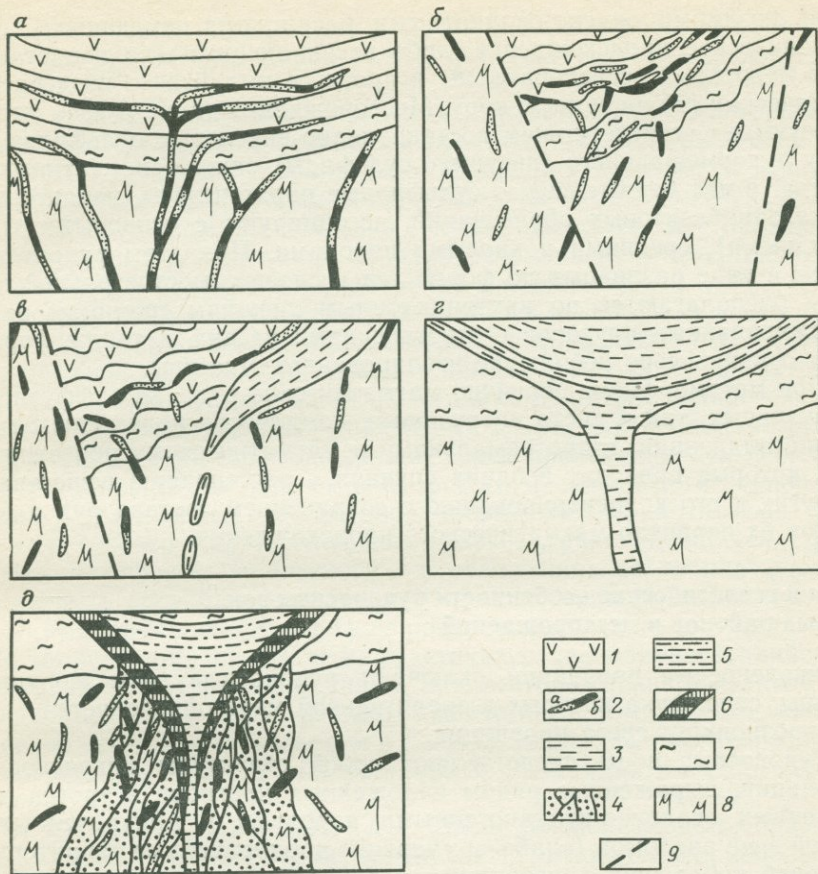


Рис. 3. Геолого-тектоническая позиция рудоносных магматических тел и медно-никелевых месторождений.

Типы: а — норильский; б — печенгский, аллареченский и западноавстралийский; в — мончегорский; г — бушвельдский; д — садберский.

1 — осадочно-вулканогенные и вулканогенные преимущественно мафические образования; 2 — сульфидоносные массивы эффузивно-интрузивных комплексов (а — обедненные рудным веществом; б — обогащенные им); 3 — стратифицированные сульфидоносные мафические массивы; 4 — зоны выноса магматически переотложенных сульфидов; 5 — основная часть массива (порит-диорит-микропегматитовые породы); 6 — зоны концентрации переотложенных сульфидов; 7 — платформенные отложения; 8 — фундамент платформ; 9 — разломы

ны эффузивно-интрузивным. Различие состоит лишь в том, что в интрузивных комплексах безрудные мафические и рудоносные мезомафические магмы внедряются в одну и ту же магматическую камеру без существенного проявления эффузивного магматизма. При этом за счет мезомафических магм формируются рудоносные горизонты интрузивных комплексов, для которых характерно в основном вкрапленное оруденение. На территории СССР интрузивные комплексы бушвельдского типа не известны.

К интрузивным комплексам отнесены также месторождения типа Садбери (см. рис. 3, д), образующиеся при магматическом переотложении (регенерации) ранее сформированных медно-никелевых руд

более поздними окисно-силикатными расплавами, имеющими либо плутоническое происхождение, либо возникающими (по представлениям некоторых исследователей) в процессе импактного воздействия космических тел на земную кору. Месторождения данного типа характеризуются несоответствием состава медно-никелевых сульфидов составу рудовмещающего (несущего сульфиды) окисно-силикатного вещества: в них бедные медью сульфидные парагенезисы, характерные для ультрабазитовых образований, ассоциируют с основными (габброидными), средними и кислыми породами. При этом рудоносные массы в виде различных по форме тел и слоев самостоятельной субфазы располагаются по крутонаклонным внешним границам ранее сформированных плутонов с ответвлениями от них, а также формируют сравнительно небольшие изолированные массивы.

При метаморфизме первично магматические руды как эффузивно-интрузивных, так и чисто интрузивных комплексов подвергаются перекристаллизации, гидротермальному и магматическому переотложению, которые приводят в одних случаях к рассеиванию вещества, а в других к его концентрированию с сохранением состава руд и признаков их первично магматического происхождения.

### **Типы и геологические особенности рудоносных зон, рудных районов и месторождений**

Никеленосные провинции включают рудоносные зоны и рудные районы, специфика которых в значительной мере определяется уровнем эрозионного среза провинции.

Рудоносные зоны представляют собой структуры никеленосной провинции, выраженные рядом наложенных прогибов и трогов, выполненных осадочно-вулканогенными породами и приуроченных к единой зоне разломов (слабо- и умеренно эродированные территории) и серией небольших линзовидных и дайкообразных тел, размещающихся в нижних частях наложенных прогибов и в подстилающем прогибы основании (глубоко эродированные территории). Примером рудоносных зон мало- и умеренно эродированных территорий является Печенгско-Имандра-Варзугская структура и структура Ветреного пояса в Карело-Кольской провинции, Енисейская рудная зона (северо-западная часть Сибирской платформы) Тунгусской провинции, пояс Шангани в Ботсване, зеленокаменные пояса в Западной Австралии, пояс Абитиви в Канаде и др. В качестве примера глубоко эродированных территорий можно привести северное и южное обрамления Печенгско-Имандра-Варзугской структуры, Мамоновскую зону Воронежского кристаллического массива, Северное Прибайкалье, пояс Томпсон и зону Инглиш Ривер Гнейс в Канаде.

Рудные районы составляют части рудоносных зон, выраженные в одних случаях одним или несколькими мультимодальными прогибами, приуроченными к единой системе или к одной зоне разломов (мало- и умеренно эродированные территории), а в других — группой небольших магматических тел крутого залегания либо отдельными крупными стратифицированными массивами (глубоко эродированные площади). К районам мало- и умеренно эродированных тер-

риторий относятся Норильский и Печенгский, а глубоко эродированных — Аллареченский, Воронежский и Северо-Прибайкальский районы.

Медно-никелевые месторождения представляют обогащенные сульфидным веществом интервалы протяженных магматических тел (колонн), отдельные сравнительно небольшие массивы и краевые блоки крупных стратифицированных магматических комплексов.

По обстановкам нахождения медно-никелевые месторождения группируются в шесть типов: западноавстралийский, печенгский, аллареченский, мончегорский, садберский и норильский.

Месторождения западноавстралийского и печенгского типов находятся в супракристалльных образованиях, выраженных архейскими и протерозойскими осадочно-вулканогенными зеленокаменными трогами и прогибами, наложенными на фундамент щитов; аллареченского типа — в инфраструктурах — архейских гранито-гнейсовых комплексах фундамента щитов, содержащих зоны проявления сульфидоносных ультрабазитовых тел; мончегорского и садберского типов — в крупных расслоенных габбро-норит-пироксенит-перидотитовых массивах архейского и протерозойского возраста, размещающихся в фундаменте платформ; норильского — в отложениях чехла платформ — наложенных прогибах, выполненных вулканогенными мафит-мезомафическими трапповыми образованиями мезозойского возраста.

Месторождения супра- и инфраструктур (западноавстралийский, печенгский и аллареченский типы). Эти месторождения связаны с эффузивно-интрузивными мафит-мезомафическими комплексами зеленокаменных поясов. Они известны в Канаде, Западной Австралии, Южной Африке, на Кольском полуострове, в Финляндии и в ряде других районов.

Месторождения Канады. Среди зеленокаменных образований Канады выявлено значительное число относительно небольших медно-никелевых месторождений, ассоциирующих с ультраосновными телами и принадлежащих к западноавстралийскому типу.

Медно-никелевые руды этих месторождений представлены вкрапленными, прожилково-вкрапленными, брекчиевидными и массивными разновидностями магнетит-халькопирит-пентландит-пирит-пирротинового состава (миллерит, хизлевудит, годлевскит, борнит и другие вторичные и второстепенные минералы). Обычно сульфидное оруденение приурочено к лежащему контакту (в первичном залегании) ультраосновных тел (перидотитов), подвергшихся метаморфическим преобразованиям (серпентинизации, амфиболизации, оталькованию и др.). Рудоносные массивы в виде уплощенных тел мощностью десятки метров и протяженностью сотни метров (иногда протяженностью до 4 км и мощностью до 300 м) залегают среди метаморфизованных осадочно-вулканогенных толщ серии киватин и в подстилающих гранито-гнейсовых породах.

Рудоносные тела, как и вся зеленокаменная серия киватин, относятся к позднеархейским (2600—2800 млн. лет) образованиям и располагаются среди гранито-гнейсового раннеархейского комплекса.

Известные медно-никелевые месторождения находятся в провинциях Сьюпириор, Черчилл, Пиквитони. По характеру размещения ру-

доносные магматические тела и связанные с ними медно-никелевые месторождения канадскими геологами подразделяются на орогеническую и вулканическую ассоциации. Кроме того, выделяется ассоциация расслоенных интрузий, к которой относятся интрузив и связанное с ним медно-никелевое месторождение Линн-Лейк, а также, по-видимому, месторождение Думбартон (пров. Манитоба).

К орогенической ассоциации относятся магматические тела интрузивной структуры, размещение которых контролируется зонами региональных разломов. Примером этого типа являются рудоносные тела пояса Нельсон-Ривер (Биртри, Боуден, Бако, Моак, Мистери, Пайп, Соаб, Томпсон, Вебовден, Менибридж) и зоны Инглиш Ривер Гнейс (Гордон Лейк). По-видимому, к этому же типу следует отнести месторождения Шебандован, Кембридж, Лангмаир (пров. Онтарио), Лоррайн (пров. Квебек) и Маскуа (пров. Манитоба).

Рудные тела пояса Нельсон-Ривер (Томпсон) располагаются вдоль разветвляющейся разломной зоны, которая простирается на севере в пределах пограничной области между провинциями Черчилл и Сьюпириор. Эта разломная зона распространяется на 180 км в длину и приблизительно 18 км в ширину. Ее ось коррелируется с осью хорошо проявленного отрицательного гравитационного тренда Боугуер. Сейсмическими исследованиями устанавливается существование здесь мощного (более 30 км) гранитного слоя.

Структурно-формационная зона Томпсон представляет собой сохранившиеся небольшие остатки линейно-складчатого синклинория, сложенного осадочно-вулканогенными породами дифференцированной андезит-диабазовой формации, включающей горизонты лав, пирокластов, кварцитов, железистых кварцитов, мраморов, конгломератов и песчаников. Все магматические тела ориентированы вдоль пояса в северо-восточном направлении. Рудоносные ультрабазиты (серпентиниты, сформированные по перидотиту) не ассоциируют с габброидами (хотя последние встречаются в пределах зоны). В одних случаях они залегают согласно с вмещающими породами, а в других — несогласно.

Месторождение Томпсон отличается своеобразным соотношением сульфидного оруденения и ультрабазитового тела (рис. 4). В сохранившихся от эрозии разведанных уровнях поле месторождения представлено сложнодислоцированными породами (кварцитами, биотитовыми сланцами, скарноидами, гнейсами, амфиболитами), среди которых находится линзообразное тело серпентинизированного перидотита размером  $250 \times 150 \times 70$  м, рассматриваемое как будинированный фрагмент более крупных магматических образований. Основная масса руд приурочена к приконтактной части ультрабазитового тела и ответвляющейся от него протяженной ( $\sim 5,6$  км) зоне мощностью 10—30 м. Рудная зона состоит из будинированных и брекчиевидных обособлений сплошных сульфидов, находящихся среди горизонта черных сланцев, сложенных крупночешуйчатым биотитом, гранатом, силлиманитом, кварцем, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, хлоритом и графитом. Массивные обособления сульфидов сменяются вкрапленной сульфидной минерализацией, которая свойственна всему перидотитовому телу.

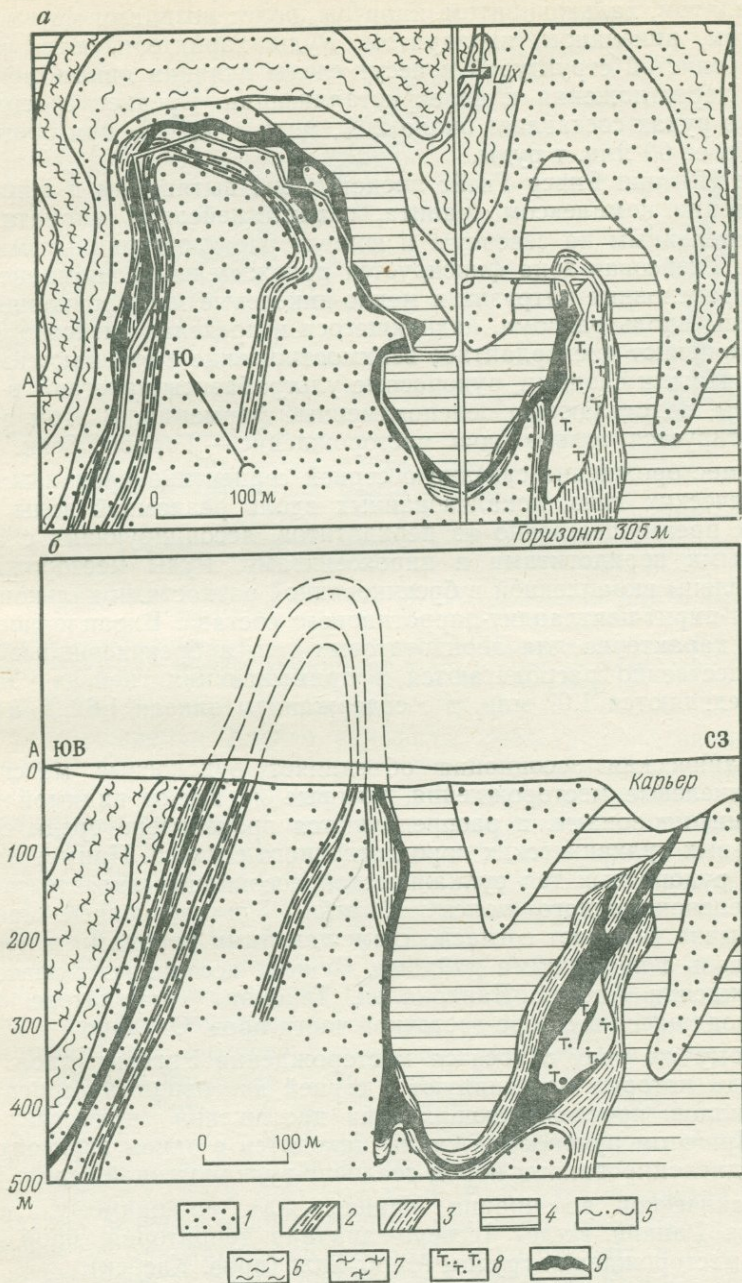


Рис. 4. Геологические план (а) и разрез (б) медно-никелевого месторождения Томпсон. По Г. Ф. Цурбриггу

1 — кварциты; 2 — железистые кварциты; 3 — биотитовые сланцы; 4 — скарнонды; 5 — биотитовые параgneйсы; 6 — роговообманковые параgneйсы; 7 — гранито-гнейсы; 8 — перидотиты; 9 —

Сульфидные руды сложены обычными минералами — пирротином, пентландитом, халькопиритом, пиритом, более поздними марказитом, зигенитом, никелином, виоларитом. Руды характеризуются мелко-среднезернистой структурой и несут следы влияния динамометаморфизма, переотложения и перекристаллизации. Среднее содержание никеля в рудах составляет около 2 %, меди ~0,14 % при общих запасах более 60 млн. т руды.

Зона Инглиш Ривер Гнейс представлена вытянутым в широтном направлении комплексом гранита, гранитогнейсов и мигматитовых тел, разделенным на северную и южную части региональными разломами. Гнейсовая зона фиксируется положительной аномалией Буге. Ультраосновные интрузии и медно-никелевые месторождения распределены вдоль разлома, находящегося в пределах гнейсового пояса, и проявляют дискордантное взаимоотношение с вмещающими породами. Иными словами, рудоносные ультрабазиты залегают в породах рамы, подстилающих зеленокаменные формации. В этом районе эксплуатируется только одно месторождение — Гордон Лейк.

Это месторождение связано с серией серпентинизированных ультрамафических линз, локализованных вдоль разломной зоны и состоящих преимущественно из перидотитов, ассоциирующих с амфиболитовыми перидотитами и пироксенитами. Руды месторождения представлены вкрапленной и брекчиевидной разностями халькопирит-магнетит-пирит-пентландит-пирротинового состава. Вкрапленное оруденение характерно для перидотитовых тел, а брекчиевидные руды преимущественно располагаются в примыкающих гнейсах. Запасы руд определяются 1,07 млн. т с содержанием никеля 1,62 % и меди 0,68 %.

Вулканическая ассоциация объединяет рудоносные массивы и медно-никелевые месторождения, которые не имеют видимой связи с разломными зонами, а распределяются произвольно среди супра-кристалльных вулканических пород основного состава. Примером проявления рудоносных тел вулканической ассоциации является территория зеленокаменного пояса Абитибид. Ультраосновные массивы здесь обычно залегают согласно с вмещающими породами и нередко имеют связь с питающими дайками. С ними ассоциируют известные месторождения Алексо, Дандональд, Тексмонт, Макулатерс, Саутман, находящиеся в северо-восточной части пров. Онтарио.

К этому же типу относятся месторождения Унгавы (пров. Квебек), руды которых ассоциируют с серией линзовидных серпентинитовых силлов, прослеживающихся на протяжении приблизительно 63 км. При этом рудоносные силлы находятся в одном горизонте отчетливо дислоцированных пород осадочно-вулканогенной серии.

Вулканической ассоциации принадлежат, по-видимому, месторождения Ранкин Инлет (северо-западная территория, пров. Черчилл) и месторождения группы Марбридж (пров. Квебек).

В месторождениях вулканической ассоциации никелевые сульфидные руды обычно приурочены к нижним частям ультрамафических тел, как это наблюдается в месторождениях Саутман и Алексо (пров. Онтарио) и др.

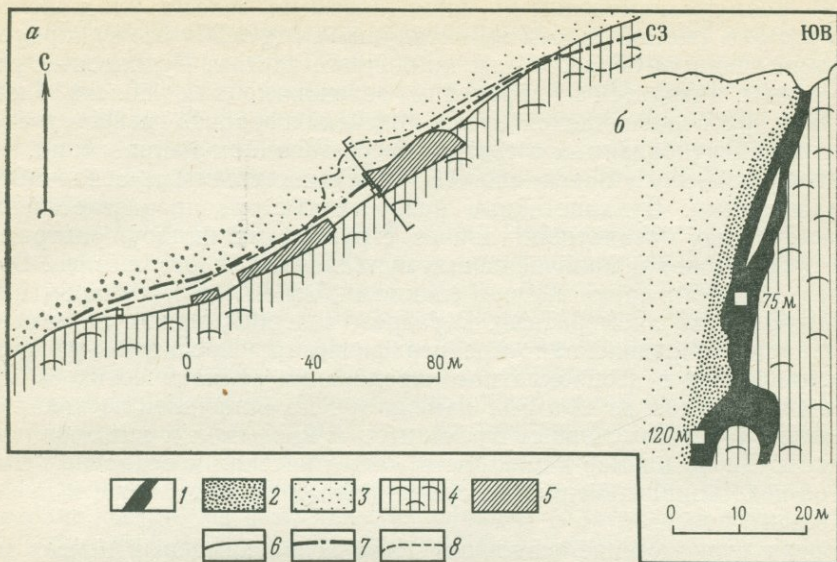


Рис. 5. Геологические план (а) и разрез (б) месторождения Алексо (пров. Онтарио). По Л. К. Килбарну и др.

1 — рудная зона; 2 — серпентиниты с вкрапленными сульфидами; 3 — серпентиниты безрудные; 4 — андезит-риолиты; 5 — площади открытой отработки; 6 — граница поверхности; 7 — подошва 75-го горизонта; 8 — подошва 120-го горизонта

В месторождении Алексо сульфиды представлены вкрапленной разновидностью в перидотите и массивными телами, находящимися на контакте между перидотитом и риолитом, а также в трещинах подстилающего риолита. Сульфидное оруденение ограничивается зоной, протягивающейся на расстоянии  $\sim 98$  м и круто погружается в северном направлении (рис. 5). Запасы руд месторождения составляют 53,5 тыс. т с содержанием никеля приблизительно 4,0 % (при содержании в сульфидах Ni 5,7 %; Cu 0,6 %).

В последние годы многие из ультраосновных тел вулканической ассоциации стали рассматриваться как покровы излившихся ультрамафических магм коматитового типа. Основанием отнесения ряда ультрамафических массивов к вулканическим потокам служат структурно-текстурные признаки: слоистость (от 30 см до 1,5 м), чередование крупнозернистых слоев с тонкими мелкозернистыми прослойками, наличие в эндоконтактных зонах грубозернистой лейстовидной структуры, получившей название спинифекс.

Месторождения Австралии. В Западной Австралии месторождения зеленокаменных поясов выявлены сравнительно недавно. Первое месторождение (Камбалда) было открыто в 1966 г., а к настоящему времени здесь обнаружено более 30 рудных объектов.

Сульфидные руды австралийских месторождений [пентландит, пирротин, халькопирит  $\pm$  пирит; Ni : Cu = (3  $\div$  80) : 1;  $\delta^{34}\text{S} = (-2,5) \div (+3,5) \text{‰}$ ] в виде вкрапленных, матричных, брекчиевидных и сплошных метаморфизованных разновидностей связаны с небольшо-

ми по размеру измененными магматическими телами ультраосновного состава (метаперидотиты, метадуниты, MgO 20—54 %), приуроченными главным образом к их придонным частям. Рудоносные ультрамафиты находятся в пределах зеленокаменных поясов блока Йилгарн, располагающихся среди архейских гранито-гнейсов и гранитов и ориентированных в северо-северо-западном направлении.

Зеленокаменные пояса сложены вулканогенными и осадочными образованиями. Вулканогенные разности состоят преимущественно из измененных базальтовых лав со структурами пиллоу, ультрамафических потоков и малочисленных вулканитов кислого состава. Осадочные разности представлены сланцами, железистыми кварцитами, песчаниками, конгломератами. В разрезе зеленокаменных толщ устанавливается определенная стратиграфическая последовательность, выражающаяся в неоднократном чередовании вулканических единиц (циклов), каждая из которых изменяется по направлению вверх от основных и ультраосновных вулканитов к кислым и к кластическим осадкам. Число циклов и мощности магматических и осадочных продуктов непостоянны, меняются существенным образом даже в пределах одного пояса.

Среди вулканогенно-осадочных толщ зеленокаменных поясов находятся силлоподобные ультрамафические тела, большинство из которых располагается согласно с вмещающими породами. Многие из таких тел имеют спинифексовые структуры и кверху переходят в базальтовые разновидности, что является основанием считать их продуктами кристаллизации излившихся на поверхность ультрамафических магм, дифференцированных во время застывания магматического расплава. Часть ультрамафических тел находится в дискордантном соотношении с вмещающими породами и рассматривается как субвулканическое (дайковое) образование.

В пределах зеленокаменных поясов встречаются также габброидные тела и стратифицированные магматические комплексы, изменяющиеся от ультрамафитов (перидотитов, пироксенитов, дунитов) внизу до трактолитов и анортозитов вверху.

Сульфидные медно-(железо)-никелевые руды связаны с различными типами ультрабазитов: 1) секущими интрузивными телами (так называемые дайковые месторождения); 2) магматическими потоками и субвулканическими силлами (вулканические месторождения); 3) трубкообразными бронзититовыми пегматитами, приуроченными к стратиформному магматическому комплексу (пегматитовые месторождения, не имеющие практического значения).

Руды по существу всех месторождений метаморфизованы и деформированы, проявляют признаки метаморфической перекристаллизации и расслоенности, подвергались брекчированию и пересечению посттектоническими дайками различного состава. Основная роль в преобразовании сульфидных руд и вмещающих пород отводится региональному метаморфизму, изменяющемуся от пренит-пумпелиитовой до высокоамфиболитовой фаций. Предполагается, что увеличенные степени метаморфизма способствовало концентрации сульфидного вещества путем превращения первично магматических вкрапленных сульфидов в массивные руды.

*Дайковые* месторождения ассоциируют с ультрабазитовыми телами, которые обычно протягиваются в длину на несколько километров. К ним относятся месторождения Персеверанс, Маунт Кейт, Форристониз и др. Большинство этих месторождений находятся в северной части никеленосной площади Западной Австралии (район Якабинди) и приурочены к узким остаточным зонам зеленокаменных образований.

Сульфидные руды месторождения Персеверанс ассоциируют с крутопадающим ультрамафическим телом, поперечный размер которого составляет приблизительно 700 м. Оно имеет перекристаллизационное дунитовое ядро с реликтами кумулятивной структуры, переходящее к периферии в тонко- или среднезернистые (0,1—2 мм) тектониты (серпентиниты), сложенные метаморфическим оливином  $\text{Fa}_{6-8}$ , серпентином, хлоритом и магнезитом. Сегрегации вторичного оливина, характерные для многих других никелевых месторождений Западной Австралии, здесь проявлены незначительно.

Непосредственно вмещающие породы ультрамафитовых тел Персеверанс состоят из фельзических сланцев (плагноклаз, кварц, ортоклаз, биотит, мусковит  $\pm$  альмандин), амфиболитов (зеленая роговая обманка, плагноклаз  $\pm$  кварц, альмандин) и небольших ультрамафических прослоев (оливин, тальк  $\pm$  тремолит, хлорит). На основании амфиболовых фаз, находящихся в метабазитах и железосодержащих породах, уровень проявления здесь метаморфизма оценивается соответствующим амфиболовой фации.

Сульфидная минерализация вкрапленного и массивного типов представлена пирротином, пентландитом и пиритом с второстепенными халькопиритом, валлериитом и виоларитом.

Массивные и брекчиевидные руды приурочены к западному контакту ультрабазитового тела в виде монолитной плиты или полос, разделенных серпентинитом. Руды имеют полосчатую текстуру, обусловленную наличием тонких слоев крупнозернистых агрегатов пентландита в мелкозернистой массе пирротина. Пентландит образует также каймы ксенолитных включений кварцита.

В восточном направлении массивные руды переходят в обширную зону вкрапленного оруденения, в которой сульфидные выделения имеют неправильные границы с метаморфическими минералами, занимают в основном интерстиционные пространства силикатных и окисных минералов и иногда включаются в зерна оливина.

В пределах месторождения выделяются три рудных тела, оконеченные по бортовому содержанию никеля, равному 1 %. Тело № 1 находится в приповерхностной части, имеет максимальную горизонтальную ширину 100 м, сужаясь до нескольких метров на глубине 200 м. Ниже, на глубинах от 250 до 800 м, находится тело № 2. К востоку от него несколькими скважинами подсечено тело № 3.

В месторождении Персеверанс насчитывается 40 млн. т руды с содержанием никеля свыше 2 % ( $\text{Ni} : \text{Cu} = 60 : 1$ ), что превышает запасы никеля в других месторождениях Западной Австралии, в частности в Маунт Кейт, Камбалде.

К *вулканическим* относятся месторождения, связанные с плоскими, согласно залегающими, силлообразными телами ультрабазитов,

рассматривающимися (на основании наличия структуры спинифекс) как магматические потоки и субвулканические силлы. Известно несколько месторождений этого вида — Камбалда, Скотиа, Уиндерра, Вайдгеймолс и др., которые обычно располагаются в виде гроздей вокруг гранитоидных куполов.

Месторождение Камбалда представлено несколькими рудными телами, размещенными около основания силлоподобных массивов ультрабазитов, которые залегают более или менее согласно между двумя метабазитовыми толщами (рис. 6, 7). Сульфидная минерализация образует вкрапленные, матричные (сидеронитовые), брекчиевидные и массивные руды. Рудные тела имеют уплощенную форму, вытянутую субпараллельно границам вмещающих пород. Руды метаморфизованы и деформированы, большинство массивных руд проявляет метаморфическую расслоенность и раздробленность. Все руды испытали складчатую деформацию и нагрев, во время которых массивные сульфиды переходили в рассеянные, хотя в целом сплошные руды мобилизованы гораздо меньше, чем другие разновидности оруденения. Неоднократное воздействие на руды оказывали пересекающие их постметаморфические и посттектонические дайки основных, средних и кислых пород. Допускается, что при метаморфизме все руды возвращались в состояние моносульфидного твердого раствора.

Ультрамафиты и вмещающие их породы вскрываются на протяжении приблизительно 21 км и в общих чертах представляют собой куполовидную структуру с падением слоев  $30-40^\circ$  во всех направлениях. Западный фланг свода прерывается узким ступенчатым трогом, а на востоке широкая купольная структура срезается главным разломом Лефрой Фалт.

Структура базального контакта ультрамафитовых тел усложняется никелевыми сульфидными телами, располагающимися в неровностях этого контакта.

Ультрамафитовые тела имеют расслоенное строение и состоят из меняющихся количеств серпентина, талька, хлорита, амфибола и карбоната. Сланцы и полосчатые известняки, присутствующие в разрезе, выходят на поверхность и лежат ниже ультрамафитов, а не протяженные, но согласные полосы кремнистого известняка мощностью до 15 м встречаются в пределах ультрамафитовых тел. Эти осадочные включения содержат до 50 % безникелевых сульфидов в форме пирротина.

Большая часть рудного вещества приурочена к контакту ультрабазитов с подстилающими метабазитами, но значительное количество (руды висячего бока) содержится непосредственно в ультрамафитовых телах.

Руды в основном сложены моноклинным пирротинном и пентландитом, ассоциирующими с второстепенными пиритом и халькопиритом. Отношения никель—медь в среднем составляет 13:1, а пирротин—пентландит довольно постоянно в пределах одного рудного тела, но изменяется от 2,3:1 до 1:1 от одного рудного тела к другому. Запасы руд составляют около 24 млн. т при содержании никеля 3,24 % и меди 0,25 %.

Рис. 6. Схема размещения рудных тел в структуре Камбалда [39].

1 — кислые интрузивы; 2 — metabазальты висячего бока; 3 — ультрамафические породы; 4 — контактные руды; 5 — metabазальты лежащего бока

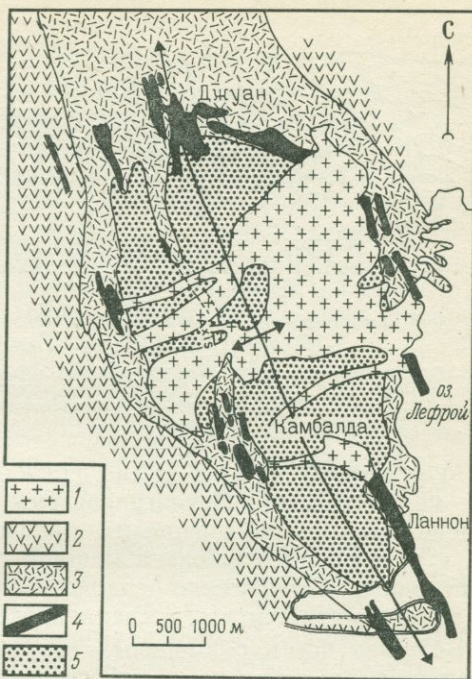
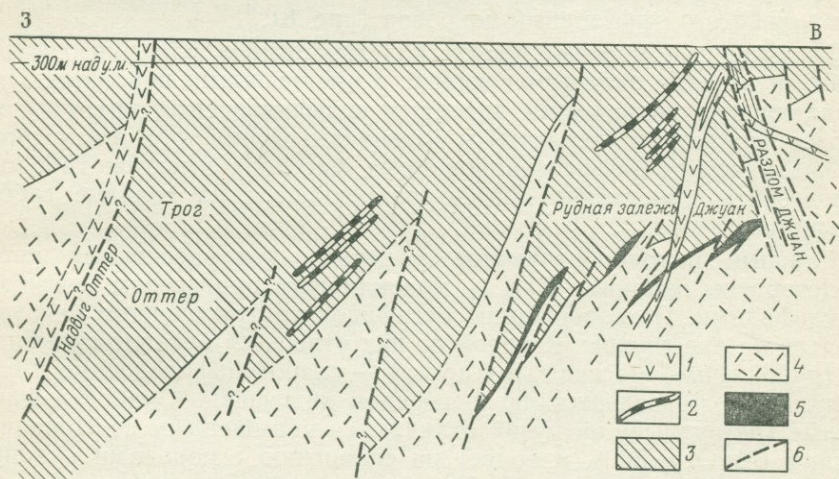


Рис. 7. Поперечный разрез рудной залежи Джуан [28].

1 — интрузивы кислого и среднего состава; 2 — сланцы и кремни; 3 — ультраосновные породы; 4 — metabазальты лежащего бока; 5 — медно-никелевые сульфидные руды; 6 — разрывные нарушения



Месторождения Африки. Медно-никелевые месторождения зеленокаменных образований Африки однотипны с рассмотренными выше архейскими месторождениями Канады и Западной Австралии. К настоящему времени в Африке выявлено несколько месторождений этого вида, в частности в пределах Родезийского кратона (Шангани, Дамба, Селаква и др.). Недавно аналогичное месторождение было обнаружено и на о-ве Мадагаскар.

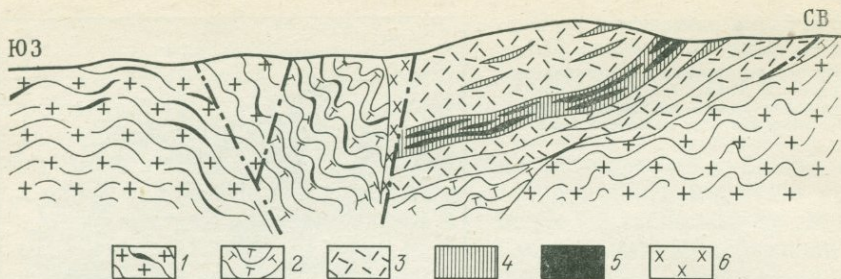


Рис. 8. Схематический геологический разрез Печенгского синклиория и Алларченского блока [6].

1 — гнейсы и граниты архея; 2 — метаморфические сланцы тундровой серии; 3 — эффузивные диабазы печенгской серии; 4 — туфогенно-осадочная толща; 5 — сульфидоносные интрузии; 6 — плагиопорфиры

Месторождения Печенгского района. Медно-никелевые месторождения Печенги связаны с небольшими по размеру измененными ультрабазитовыми телами Печенгской синклиальной структуры, которая сложена мощной толщей (до 10 км) интрузивно-эффузивных и туфогенно-осадочных образований, сформировавшихся, как принято считать, в среднепротерозойское время.

Большая часть рудоносных интрузий и медно-никелевых месторождений сосредоточена в туфогенно-осадочном горизонте (филлиты, песчаники, туфогенные сланцы), располагающемся на границе третьего и четвертого эффузивных покровов (рис. 8).

Интрузивные массивы имеют пластообразную или линзовидную форму и в целом залегают согласно с вмещающими породами. Преобладающими первичными породами сульфидоносных интрузий являются перидотиты (верлиты) и оливиниты. Кроме того, в некоторых так называемых дифференцированных массивах имеются габбро и пироксениты (последние обычно размещаются на границе габбро с перидотитами).

Главные породообразующие минералы ультраосновных пород представлены оливином  $Fa_{19-29}$ , моноклинным пироксеном (авгитом) и сульфидами. По содержанию сульфидов ультраосновные интрузии делятся на две группы. К одной из них относятся богатые сульфидами (рудоносные) массивы, а к другой — слабосульфидоносные и промежуточные по содержанию сульфидов интрузивы. Слабосульфидоносные (безрудные) интрузии отличаются повышенным содержанием магния ( $MgO \sim 30\%$  и более) по сравнению с породами рудоносных интрузий, количество  $MgO$  в которых обычно составляет менее 30%. Имеются указания на то, что безрудные ультраосновные интрузии несколько предваряют в своем внедрении рудоносные интрузии, хотя в целом они представляют собой продукты одного магматического цикла.

Медно-никелевые руды печенгских месторождений [ $Ni : Cu = 2 : 1$ ;  $\delta^{34}S_{ср} = +(2 \div 5) \text{‰}$ ] представлены следующими основными типами: вкрапленными, сплошными, брекчиевидными и прожилково-вкрап-

ленными, приуроченными преимущественно к нижним частям ультраосновных массивов и к подстилающим их породам.

Вкрапленные руды по своему происхождению делятся на син- и эпигенетические. Сингенетическая вкрапленность наблюдается в удаленных от внешних границ участках массивов в виде интерстиционных выделений сульфидов среди сравнительно слабо метаморфизованных перидотитов и оливинитов. Эпигенетическая вкрапленность приурочена преимущественно к тектонически нарушенным приконтактовым (нижним) частям интрузий и к подстилающим интрузивы породам. Наложенная вкрапленность эндоконтакта интрузивов характеризуется большой насыщенностью сульфидов, интенсивно замещающих первичные и вторичные пороодообразующие минералы (оливин, пироксен, серпентин, хлорит, тальк, тремолит, актинолит), и образует так называемые серые руды, нередко постепенно переходящие в сплошные и брекчиевидные. Во вмещающих интрузивы породах эпигенетическая вкрапленная минерализация также часто сопровождается сплошные выделения сульфидов и (в случае прожилковой формы последних) образует вместе с ним прожилково-вкрапленный тип руд.

Сплошные и брекчиевидные руды пространственно тесно связаны друг с другом и по существу представляют собой единую сульфидную массу, содержащую различное количество обломков вмещающих пород. Пространственно сплошные и брекчиевидные руды размещаются преимущественно в зоне нижнего контакта ультраосновных массивов, располагаясь непосредственно на границе интрузива с подстилающими породами, в пределах интрузивного массива и среди подстилающих пород. Во всех случаях распространение этих руд связано с тектоническими зонами, имеющими обычно межпластовый характер.

В минералогическом отношении руды рассматриваемых месторождений имеют однотипный состав. Главными сульфидными минералами в них являются пирротин (гексагональная и моноклиновая модификации), пентландит и халькопирит. Но распределение этих минералов среди существующих типов руд неодинаково, а следовательно, различен и химический состав руд.

Состав руд изменяется в направлении от центра к экзоконтактам рудоносных массивов, от сингенетического вкрапленного оруденения в серпентинизированных породах интрузий до прожилково-вкрапленной минерализации в подстилающих филлитах. Сингенетические вкрапленные руды, находящиеся в сравнительно слабо серпентинизированных перидотитах или оливинитах, по минеральному и химическому составу примерно соответствуют среднему составу сульфидных руд печенгских месторождений. Увеличение метаморфизма пород (направленное обычно в сторону нижнего контакта интрузий и выраженное в развитии антигорита, хлорита, тремолита и других минералов) вызывает изменение состава сульфидов и уменьшение их количества в породе. Вначале замещается пирротин (магнетитом), образуя иногда обогащенную никелем беспирротиновую борнит-халькопирит-пентландитовую ассоциацию, затем халькопирит и пентландит (хлори-

том, тремолитом и др.) с выносом меди и никеля за пределы изменяющейся породы.

В участках развития серых руд сульфиды сами производят интенсивное метасоматическое замещение первичных (оливин, пироксен) и вторичных (серпентин, хлорит, тальк, тремолит) силикатных минералов. Состав серых руд приближается к составу сульфидной сингенетической вкрапленности или отличается от нее несколько более высоким содержанием никеля и меди.

В эпигенетических сплошных, брекчиевидных и прожилково-вкрапленных в филлитах рудах изменение состава выражается в постепенном уменьшении содержания никеля и увеличении количества пирротина с удалением от интрузива и к краевым частям рудных тел, вплоть до образования безникелевой пирротиновой (+пирит) минерализации. Причем последняя проявляется не только в нижнем экзоконтакте ультраосновных массивов, но и в их кровле, где нередко развигается по пироксенитам и габброидам. Следовательно, в печенгских месторождениях внешнюю часть фронта распространения эпигенетических руд составляют выделения безникелевого пирротина.

Месторождения Аллареченского района. В Аллареченском районе, находящемся юго-западнее Печенгской структуры, сульфидные медно-никелевые руды приурочены к ультраосновным массивам, имеющим вид небольших субсогласных и секущих тел (рис. 9), размещающихся среди архейских пород кольской серии (биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы, полевошпатовые амфиболиты, граниты) и раннепротерозойских образований тундровой серии (кварц-биотит-амфиболитовые и углистые сланцы, метадиабазы, амфиболиты и кварциты). В структурном плане ультраосновные интрузивы

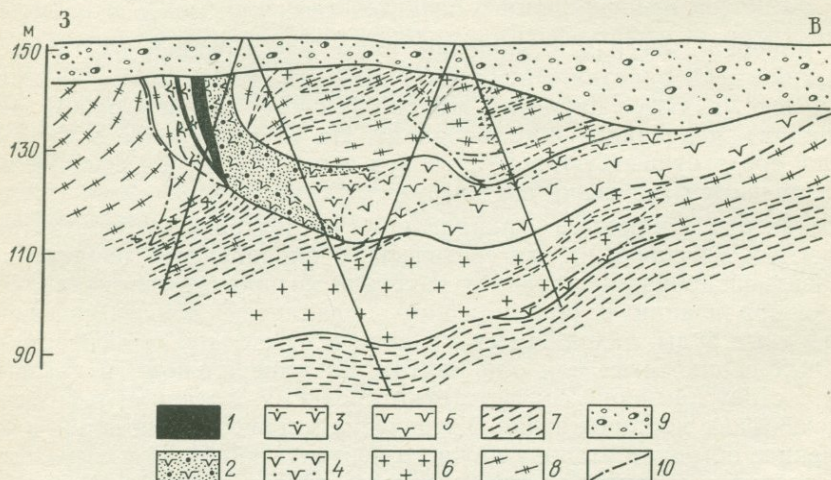


Рис. 9. Поперечный разрез северной части Аллареченского месторождения [5].  
 1 — массивные руды; 2 — богато вкрапленные руды в серпентинитах; 3 — серпентиниты с вкрапленностью сульфидов; 4 — слабосульфидоносные серпентиниты; 5 — ультрабазитовые породы; 6 — гранито-гнейсы; 7 — биотитовые гнейсы; 8 — амфиболиты; 9 — четвертичные отложения; 10 — разрывные нарушения

зи Аллареченского района, залегающие среди пород кольской серии, находятся в приподнятом архейском блоке, в пределах северного замыкания Нотозерского антиклинория. Ультраосновные интрузивы тундровой серии обнаружены в региональных зонах смятия, проходящих вдоль контактов архейского блока с образованиями раннего протерозоя, которые, возможно, являются основанием печенгской синклинальной структуры, частью ее юго-западного крыла, сохранившейся от эрозии.

Ультраосновные интрузии района делятся на рудоносные и безрудные. Безрудные интрузивы образуют сравнительно крупные пластовые и чашеобразные тела мощностью до 260 м. Те из них, что залегают среди архейских пород, сложены в основном гиперстенитами, оливинитами и гарцбургитами (габброиды здесь отсутствуют), а массивы, находящиеся среди отложений тундровой серии, кроме оливинитов и гарцбургитов, содержат верлиты и лерцолиты. Основными первичными минералами пород безрудных интрузий являются оливин и гиперстен (+авгит для интрузий тундровой серии). Оливин имеет состав  $Fe_{17-21}$ , а гиперстен  $Fs_{30-35}$ . Рудная фракция представлена магнетитом, хромитом и сульфидами. Сульфидные выделения (халькопирит-пентландит-пирротинового состава) в виде вкрапленности сосредотачиваются в придонных частях массивов в количестве до 1 %.

Рудоносные интрузии представляют собой небольшие пластовые тела мощностью до 25 м. В отличие от интрузий безрудного типа в них больше развиты гарцбургиты, сульфиды преобладают над магнетитом и размещаются по всему интрузивному телу, а главные породообразующие минералы — оливин и гиперстен — имеют более железистый состав  $Fe_{31-35}$ ,  $Fs_{38-42}$ . Различие между этими двумя типами интрузий проявляется в их химическом составе: в интрузиях безрудного типа содержание  $MgO$  постоянно более 30 % (31,2—38,9 %), тогда как в рудоносных массивах оно неизменно менее этой величины (20—25 %).

Выделенные в районе два типа гипербазитов рассматриваются как производные одного магматического очага, причем считается, что безрудные интрузии внедрились несколько раньше рудоносных массивов.

*Месторождения крупных расслоенных массивов (мончегорско-бушвельдский и садберский типы).* Медно-никелевые месторождения, связанные с крупными расслоенными массивами, известны в Мончегорском, Бушвельдском и Садберском районах.

Месторождения Мончегорского района. Известные в Мончегорском районе медно-никелевые месторождения связаны с Мончегорским массивом (плутоном), представленным двумя интрузивными ветвями: Ниттис-Кумужья — Травяная (НКТ) и Сопча — Нюд-Поаз.

До сравнительно недавнего времени Мончегорский плутон рассматривался как самостоятельный интрузив платформенного этапа развития. В последующие годы появились данные о взаимосвязанном образовании известных в районе магматических массивов: существенно ультрамафического Мончегорского и габброидного Глав-

ного хребта (Мончетундровского габбро-норитового и Чуна-Волчьих Тундр габбро-анортозитового).

Вмещающими породами мафит-ультрамафического комплекса Мончегорского района являются: гнейсы беломорской и кольской серий архея (с запада и востока), метаморфизованные осадочно-вулканогенные образования тундровой серии раннего протерозоя (с юго-востока), осадочно-вулканогенные образования имандра-варзугской серии среднего протерозоя (с востока-юго-востока). Причем со всеми перечисленными толщами (в том числе с имандра-варзугской серией) Мончетундровский массив имеет интрузивные соотношения.

В самой нижней части массива выделяется краевая зона полевошпатовых пород, меняющихся по составу от плагиоклазовых гарцбургитов до габбро-норитов при изменении их мощности от 10 до 200 м. Выше находится горизонт ультрамафических пород — ультрамафическая зона, которая характеризуется изменчивой мощностью и составом. На значительной площади эта зона выходит на поверхность и не сохранила своего полного разреза и объема. Наибольшая ее мощность (около 1400 м) устанавливается в пределах горы Сопчи. Нижняя часть ультрамафической зоны сложена преимущественно гарцбургитами. Выше идет горизонт чередования гарцбургитов с бронзититами, который кверху постепенно сменяется преимущественно бронзититами и плагиоклазовыми бронзититами. При общей тенденции понижения основности пород по направлению кверху выделяются два мегаритма — нижний (мощность порядка 700—1000 м), изменяющийся от гарцбургитов до бронзититов, и верхний (мощностью более 200 м), в основании которого находятся оливиниты («оливиновый блок» НКТ), гарцбургиты и оливиновые гарцбургиты («перидотитовый пласт» Сопчи), а вверху — плагиоклазовые бронзититы. Каждый из мегаритмов осложнен ритмами более высоких порядков.

В пределах гор Нюд и Поаз ультрамафический горизонт имеет мощность до 800 м и сложен плагиоклазовыми бронзититами, меланократовыми оливиновыми норитами, переходящими кверху в нориты и габбро-нориты.

Характерной особенностью строения Мончегорского массива, отмечаемой всеми исследователями, является последовательное выклинивание нижних горизонтов (из-за несогласного положения субгоризонтальной расслоенности по отношению к поверхности нижнего контакта массива) и фациальная изменчивость состава пород в горизонтальном направлении. Вследствие этого в направлении с юго-запада на северо-восток (от горы Сопчи к горе Нюд) состав пород нижнего и верхнего ритмов изменяется следующим образом: нижний горизонт гарцбургитов выклинивается, вышележащие бронзититы и подчиненные им гарцбургиты нижнего ритма переходят в полевошпатовые бронзититы и далее — меланократовые и оливиновые нориты; оливинсодержащие породы («перидотитовый пласт» горы Сопчи), составляющие основание верхнего ритма, сменяются норитами и микроноритами «критического горизонта» горы Нюд, тогда как полевошпатовые бронзититы верхней части разреза сменяются мезократовыми норитами и габбро-норитами.

По всему разрезу массива встречаются пегматоидные образования, которые слагают пласто-, линзообразные и жильные тела, залегающие в одних случаях согласно со стратификацией массива, а в других несогласно. Нередко к таким телам приурочена сульфидная медно-никелевая минерализация.

Сульфидное медно-никелевое оруденение Мончегорского массива представлено вкрапленным, прожилково-вкрапленным и жильным типами, имеющими в первичном состоянии обычный халькопирит-пентландит-пирротинный состав.

Вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение сосредоточено в двух горизонтах: нижнем («донная залежь»), приуроченном к краевой зоне массива, и верхнем («рудный пласт» горы Сопчи и «критический горизонт» горы Нюд), залегающем в основании верхнего мегаритма.

Жильные руды расположены в интервале 300—350 м, образуя систему субвертикальных тел средней мощности 0,27 м, сконцентрированных в надмульдовой области массива и прослеживающихся вдоль его оси на 3,5 км. Отмечается, что в месторождении Сопча жильные руды проявлены в меньшем масштабе, чем в НКТ. Многие из жил на своем продолжении (обычно по восстанию жильного поля) переходят в диорит-пегматиты.

Детальное изучение сульфидного оруденения, проведенное Д. В. Рундквистом, В. Н. Соколовой, выявило закономерную зональность в его составе и строении. Так, установлено, что вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды изменяются в составе вкрест стратификации интрузива при закономерной связи с зональным строением вмещающих пород: относительно обогащаются медью в направлении снижения основности пород. В связи с этим устанавливается обратная вертикальная зональность для нижнего горизонта и прямая — для верхнего.

В жильных рудах наблюдается «чехольная» зональность, выражающаяся в увеличении содержания меди от центральной части жилы вверх и вниз по вертикали при более сложной смене оруденения в плане. Зональность в жильных рудах не зависит от состава вмещающих пород.

Месторождения Бушвельдского комплекса. Бушвельдский интрузивный комплекс в целом представляет собой магматический массив, сужающийся и погружающийся к центру под углами от 15 до 30°. Верхняя и центральная часть массива сложены так называемым бушвельдским красным гранитом; ниже его залегают расслоенная серия пород, состав которых изменяется от средних до ультраосновных разновидностей. Расслоенная серия подразделяется на ряд зон: Закалки, Базальную, Критическую, Главную и Верхнюю.

В качестве зоны *Закалки* рассматривается встречающийся иногда на контакте с осадочными породами преторианской серии так называемый маруленговый норит, но маловероятно, чтобы он представлял собой недифференцированную магму Бушвельдского комплекса, так как сильно контаминирован осадочными породами.

*Базальная* зона составляет нижнюю (ультраосновную) часть интрузивного комплекса и представлена различными по мощности чере-

дующимися слоями дунитов, оливинитов, перидотитов и пироксенитов. Базальная зона не является горизонтом, полностью отгораживающим вышележащие дифференциаты от вмещающих осадочных пород: нередко породы главной и других вышележащих зон непосредственно контактируют с осадочными толщами. В этой зоне имеются включения ксенолитовых тел, например хендрикспластового норита, содержащего ксенолиты карбонатных пород и кварцитов; встречаются ответвления ультраосновных пород от основной части зоны с внедрением их в обрамляющую среду комплекса, о чем свидетельствует перидотитовое тело в Бюргерсфорде, проникшее под магалисбергский кварцит.

В описываемой зоне отсутствуют какие-либо значительные скопления рудных минералов. Хромшпинелиды находятся здесь в основном в виде рассеянных зерен, незначительные сульфидные выделения отмечаются только в перидотитовом ответвлении Бюргерсфорда.

*Критическая* зона характеризуется повышенной расслоенностью пород, выражающейся в переходе от полосчатого норита к разнообразным чередованиям пироксенита, норита, анортозита и хромитита. В отличие от нижележащей зоны породы и минералы Критической зоны имеют менее магнезиальный состав ( $MgO$  до 27 %, ортопироксен  $Fs_{18-24}$ ), в них мало оливина, но содержится повышенное количество хромита, образующего скопления в виде многочисленных прослоек и пластов, нередко имеющих промышленное значение. Плагноклаз пород этой зоны изменяется в составе в пределах  $Ap_{76}$  (центр зерен)  $Ap_{68} \rightarrow Ap_{82-85}$  (край), т. е. характеризуется обратной зональностью зерен.

В верхней части этой зоны находится платино-сульфидоносный горизонт — знаменитый риф Меренского. Он состоит из двух грубозернистых пироксенитовых слоев, разделенных габброидными породами — норитом и анортозитом; мощность его изменяется от 1 м и менее до 9 м при удивительно большой протяженности по простиранию (до 200 км). Главными породообразующими минералами рифа являются бронзит ( $Fs_{24} - 73-64$  %), моноклинный пироксен ( $Fs \sim 17$  %), плагноклаз ( $Ap_{73-85} - 16-25$  %), оливин ( $Fa_{20-22}$ ) и хромит. Сульфиды и платиноиды приурочены главным образом к узким полоскам хромитов. Сульфидная фракция представлена халькопирит-пентландит-пирротиновой ассоциацией, составляющей не менее 2—5 % породы. Платиновые минералы образуют как минеральные формы (бреггит, ферроплатина, сперрилит и др.), так и изоморфные примеси в сульфидах в следующих соотношениях, %: платина 60, палладий 27, рутений 5, родий 2,7, иридий 0,7, осмий 0,6; в сульфидных рудах присутствуют также золото, серебро, цинк и другие элементы.

Циклическая пачка рифа Меренского перекрывается почти идентичным циклом, состоящим из пироксенита, норита, пятнистого и пестрого анортозита, причем каждый из этих слоев имеет несколько большую мощность, чем его аналог в рифе Меренского. Данная пачка носит название рифа Бастард (побочный риф), а вся ассоциация пород называется циклом Бастард. Верхняя часть пестрого анортозита определяет верхний предел распространения расслоенной (Кри-

тической) зоны. Пироксенит рифа Бастард почти не отличается от пироксенита рифа Меренского, а вдоль его нижнего чрезвычайно резкого контакта с анортозитом обычно находится тонкий хромитовый слой мощностью, как правило, менее 1 мм. Хромит сопровождается сульфидами и низким содержанием платиноидов.

Висячем боку рифа Меренского последовательность смены пород остается по существу неизменной, в лежачем — резко меняется от одного района к другому. Считается, что последнее связано с несогласными соотношениями рифа с подстилающими слоями. Установлено, что риф Меренского находится на различных расстояниях от хорошо выдержанных маркирующих слоев хромититов, расположенных в подстилающих породах. В районе рудника Рутенбург, расположенного на 34 м ниже описываемого рифа, залегает необычный слой, состоящий из сфероидальных «валунов» грубозернистого пироксенита в анортозитовом пласте. Валунобразные образования разбросаны, но обе их длинные оси ориентированы параллельно напластованию; диаметр валунов колеблется от 2 до 30 см.

Для внутренних частей рифа характерно проявление двух типов структур — «углубления» (potholes), представляющие собой локальные блюдцеобразные прогибы (смещения), и «холмы» (koppies) — локальные куполообразные части рифа. Первоначально они были обнаружены в рифе Меренского, но впоследствии выяснилось, что эти структуры встречаются и в рифе Бастард, а также в различных хромититовых пластах. Типичные прогибы имеют округлую или эллиптическую форму диаметром от 9 см до 300 м. Глубина их колеблется от 30 см до 60 м и более; обычно чем больше диаметр прогибов, тем больше их глубина. Подстилающие породы вдоль края прогибов и ниже не нарушены, в них отсутствуют синклиналильные структуры, имеющиеся в рифе. В то же время расслоенные породы висячего бока вплоть до рифа Бастард и выше него повторяют эти обращенные вниз складки, амплитуда которых постепенно уменьшается с увеличением расстояния от рифа.

Главная зона сложена габброидными породами (габбро, норитамми, габбро-анортозитами); содержание  $MgO$  в ее породах обычно не превышает 9%; главными пороодообразующими минералами являются ортопироксен ( $Fs_{26-60}$ ), плагиоклаз ( $An_{73-63}$ ) и клинопироксен; оливин практически отсутствует; хромит и магнетит в основном представлены единичными зернами (магнетит образует также скопления в виде небольших по мощности слоев); зерна плагиоклаза, как и в Критической зоне, нередко имеют в краевых частях высококальциевую ( $An_{79}$ ) зону, т. е. обладают обратной зональностью. В породах встречаются редкие и мелкие сульфидные выделения преимущественно халькопиритового состава.

Главная зона не всегда залегает согласно с расположенными выше и ниже по разрезу Верхней и Критической зонами — во многих районах между ними установлены признаки трансгрессивных соотношений, подобные наблюдаемым внутри Критической зоны.

Верхняя зона в нижней половине разреза сложена габброидными породами (габбро, троктолиты + два небольших слоя пироксенитов), содержащими двадцать с лишним магнетитовых слоев мощностью

от 0,3 до 1,8 м, а в верхней — преимущественно диоритом. Химический состав пород и минералов показывает, что в отличие от нижележащих зон породы и минералы этой зоны содержат меньше магния и кальция и значительно больше железа, титана, кремния и щелочей, с увеличением этой разницы по направлению к верху разреза зоны. Здесь более контрастно, чем в двух предыдущих зонах, проявлена обратная зональность, в зернах плагиоклаза ( $Ap_{55-83}$ ), но существует она только в породах нижней половины разреза, тогда как в верхней его части обратная зональность в плагиоклазах не проявляется.

Выше этой зоны находится бушвельдский гранит, нередко отгороженный от основных пород лептитом, микрогранитом, иногда фельдшпатизированным кварцитом и гранофиром. Бушвельдский гранит в общем соответствует стратиграфическому строению комплекса, причем главное его тело обычно не имеет несогласных соотношений с основными расслоенными породами, а в кровле, сложенной в основном фальзитом и гранофиром, а также обломками пород трансваальской системы наблюдается четко несогласное соотношение гранита с ее породами.

С бушвельдским гранитом связаны месторождения олова и флюорита. Оловянные месторождения находятся в граните, гранофире, в рооибергском фельзите, в породах преторианской серии и на контакте их с гранитами.

Кроме рассмотренных пород основного разреза, в Бушвельдском комплексе имеются пегматоидные образования, представленные гранитными и ультраосновными разновидностями. Гранитные пегматиты распределены спорадически и, как предполагается, возникли в результате локального анатексиса и гранитизации осадочных ксенолитов.

Ультраосновные пегматиты распространены широко. Среди них выделяются дунитовые, бронзититовые, диаллагититовые, магнетитовые и вермикулитовые пегматоиды, обычно образующие трубообразные тела.

Дунитовые пегматоиды представлены платиноносным гортонолитовым дунитом и высокомагнезиальным дунитом, слагающим нередко краевые (внешние) части платиноносных трубок гортонолитового дунита. Платиноиды, связанные с этими телами, представлены в основном самородной платиной (содержание Pt изменяется от 84 до 98 %), что отличает их от платиноидов, ассоциирующих с сульфидами, например рифа Меренского, характеризующихся сложным минеральным и химическим составом, а также более низкой величиной Pt/Pd.

Соотношения пегматоидных тел с окружающими породами различные. Например, тело гортонолитового дунита в Онвервахте, пересекая Главный хромитовый пласт, не нарушает его строения и непрерывности, хотя состав хромита на этом участке (в поле распространения пегматоида) становится более железистым. Имеются также факты, указывающие на активное воздействие пегматоидов на вмещающие породы, выражающиеся в переносе и окатывании ксенолитов пегматоидной массой.

Медно-никелевое оруденение, связанное с Бушвельдским магматическим комплексом, подразделяется на два типа: одно из них приурочено к рифу Меренского, а другое — к минерализованным трубкам Влакфонте́на.

Рудная минерализация рифа Меренского характеризуется следующими особенностями: высоким содержанием металлов группы платины при величине  $Pt : Pd = 2 : 1$ ; тесной ассоциацией сульфидов и платиноидов с хромитом (накопление в зонах концентрации хромитовых зерен); относительно низким (2—5 %) содержанием рудного (сульфидного) вещества ( $Ni : Cu = 1 : 1$ ) при больших общих прогнозных ресурсах никеля (~6 млн. т).

Медно-никелевые месторождения района Влакфонте́н приурочены к западной части комплекса Бушвельд и представлены в виде трубообразных минерализованных зон («никелевых трубок») размером до сотен метров в поперечнике, встречающихся как включения (кластеры) вдоль 30-километрового пояса, вытянутого с севера на юг и расположенного северо-западнее Рюстенбурга, в 50 км от него.

В региональном плане распределение 238 известных никелевых трубок («железных шляп») коррелируется с мощностью пород основания комплекса, крупными разрывными нарушениями и локальными разрывами и трещинами. Обычно они состоят из массивного сульфидного ядра, окруженного вкрапленной сульфидной и окисной минерализацией. Медно-никелевое оруденение представлено в основном пирротином (60—83 %), пентландитом и кубанитом. Макинавит и второстепенный графит находятся в основном в пределах массивной руды, тогда как халькопирит и в меньшей мере маухерит, никелин и герсдорфит концентрируются вместе с минералами хромитовой фракции, содержащей немного магнетита, в периферийных пойкилофитовых и вкрапленных рудах.

Золото, серебро, платиноиды наблюдаются как спорадические составляющие в рудах с содержанием 11 г/т Au и 6 г/т Ag и повышенной концентрацией в краевых (вкрапленных, обогащенных медью) частях рудных тел.

Месторождения Садбери. В месторождениях Садбери сосредоточены крупнейшие запасы медно-никелевых руд. Они связаны с «никелевым ирруптивом», или «чашей Садбери». На поверхности массив имеет вид эллиптического кольца толщиной до 6,6 км, наибольшая ось которого, вытянутая в северо-восточном направлении, составляет около 60 км, а наименьшая — приблизительно 27 км. Внешняя часть массива сложена кварцсодержащими норитами, переходящими к центру в микропегматиты (гранофиры). Границы ирруптива обычно наклонены к его центру, но местами наблюдаются контакты с противоположным падением. Вмещающая интрузив среда сложена архейскими (гранитогайсы, кварциты, кристаллические сланцы, метабазиты), раннепротерозойскими (вулканогенные и осадочные отложения Гуронской группы) и среднепротерозойскими (конгломераты, аркозы, граувакки серии вейтвотер) образованиями.

В основании массива, по данным А. Д. Налдритта, Г. Каллеруда и других, находится норитовый субслой, представляющий собой более позднюю интрузию по сравнению с вышележащими породами

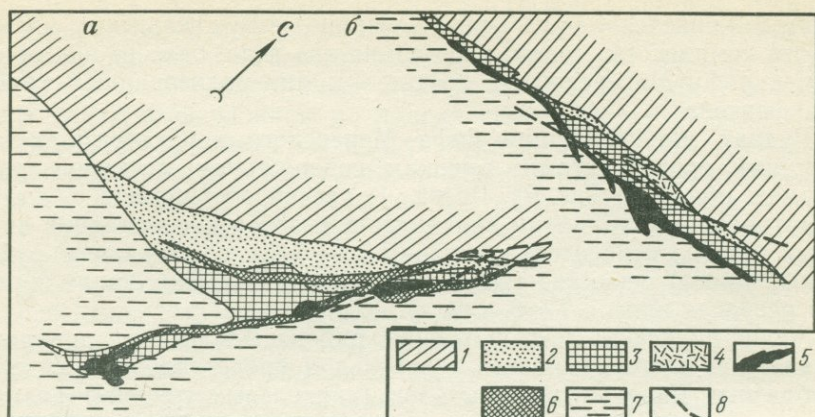


Рис. 10. План горизонта 1307 м месторождения Крейтон (а) и разрез зоны месторождения Маррей (б) [43].

1 — норит (фельзический); 2 — неравномерно вкрапленные сульфиды в норите (мафическом); 3 — сульфиды в норите с перидотитовыми и габбровыми ксенолитами (в ксенолитовом норите); 4 — интерстиционные сульфиды в норите (мафическом); 5 — массивные сульфиды; 6 — зона рассланцованных руд; 7 — подстилающие породы; 8 — разрывные нарушения

(фельзическим норитом, переходной зоной и гранофиром). В составе субслоя выделяются мафические ксенолитовые нориты (рис. 10 а, б), причем мафические нориты считаются древнее ксенолитовых\*.

Мафический норит состоит из средне-крупнозернистого плагиоклаза ( $An_{58-70}$ ) и окружающего его пироксена, представленного преимущественно гиперстеном (с незначительным количеством авгита) и составляющего 50 % объема породы. Обычно мафический норит содержит 0,5—4 % гранофировых сростаний кварца и калиевого полевого шпата и всегда имеет резкие контакты с перекрывающим фельзическим норитом.

Ксенолитовый норит в основной массе имеет тот же состав, что и мафический норит, но в отличие от него содержит (30 % и более) ксенолиты, изменяющиеся по составу от дунита, через перидотит и пироксенит до оливинового габбро. При этом важно отметить, что состав оливина дунитовых и перидотитовых включений изменяется в пределах  $Fa_{15-20}$ .

Мафические и ксенолитовые нориты (субпластовые нориты) сопровождаются дайкообразными телами кварцевого диорита, уходящими во вмещающие породы (от интрузива Садбери) на различные расстояния (от непосредственного примыкания к норитовому субслою в руднике Харди до нескольких километров — рудники Фруд, Копер-Клиф и др.). Эти дайкообразные тела, называемые оффсетами кварцевого диорита, обычно содержат ксенолитовые включения, аналогичные включениям ксенолитового норита и иногда достигающие очень крупных размеров. Например, в пределах рудника Фруд встре-

\* В настоящее время имеются данные рубидий-стронциевых определений, показывающие, что породы субслоя ( $1956 \pm 98$  млн. лет) древнее гранофиров ( $1680 \pm 30$  млн. лет), что объясняется метаморфическими преобразованиями последних.

чено ксенолитовое тело перидотита, составляющее приблизительно 45 м в поперечнике. Породообразующие минералы кварцевого диорита представлены андезином, амфиболом, кварцем и биотитом, акцессорные — апатитом, ильменитом и сфеном.

В состав сульфидных руд Садбери входят пирротин, пентландит, халькопирит (составляющие ~95 % руд), а также второстепенные минералы — пирит, кубанит, борнит, миллерит, хизлевудит, магнетит и другие, образующие иногда локальные скопления. Отношение никеля к меди в рудах изменяется от 20 : 1 до 1 : 2 при среднем соотношении 1,5 — 2 : 1. Следовательно, по своему составу сульфиды месторождений Садбери относятся к сравнительно бедным медью высокотемпературным разностям руд, которые во всех остальных известных случаях связаны только с ультраосновными (MgO 25—30 %) сульфидоносными магмами.

Сульфидные руды подразделяются на вкрапленные, прожилково-вкрапленные, брекчиевидные и сплошные (массивные). Вкрапленные сульфиды сингенетического характера связаны с мафическим и ксенолитовым норитами и кварцевым диоритом оффсетов. С этими же породами ассоциируют и остальные разновидности руд (вкрапленно-прожилковые, брекчиевидные и сплошные), находящиеся как внутри данных интрузивных тел, так и во вмещающих породах — тектонически ослабленных или брекчированных гранито-гнейсах и др.

Медно-никелевая минерализация отсутствует в основном (более раннем) теле интрузива Садбери — в фельзитическом норите и микропегматите (гранофире). Содержащиеся в них редко встречаемые сульфидные выделения представлены преимущественно пиритом.

Мафические нориты содержат до 20 % сульфидов в виде тонкой вкрапленности в силикатных минералах и в интерстициях их зерен.

В ксенолитовых норитах сульфиды концентрируются преимущественно в цементирующей массе (в собственно норите), где они иногда составляют (главным образом пирротин и пентландит) до 70 % объема породы, тогда как ксенолиты содержат незначительное количество сульфидных минералов. В соотношениях сульфидов с первичными силикатами норитов не обнаруживается признаков взаимного влияния: сульфидные минералы обычно занимают интерстиции зерен силикатов вплоть до таких соотношений, когда сульфиды количественно преобладают над силикатами, цементируя как породообразующие минералы норитовой составляющей, так и содержащиеся в них ксенолиты.

В оффсетовых телах кварцевого диорита (Фруд, Коппер-Клиф и др.) сульфиды распределяются так же, как и в мафических и ксенолитовых норитах. Там, где отсутствуют ксенолитовые включения, сульфиды образуют вкрапленность различной интенсивности (обычно наиболее высокие горизонты содержат меньше сульфидов, вплоть до полного их исчезновения), занимающую главным образом промежутки зерен силикатных минералов, т. е. характер распределения и соотношения сульфидов с силикатами здесь такие же, как в мафическом норите. При наличии ксенолитовых включений оруденение аналогично рудам ксенолитовых норитов. Количественное соотношение между сульфидами и силикатами в оффсетах различное. Встреча-

ются участки, где сульфидная составляющая резко преобладает над диоритовой, которая иногда представляет (вместе с ксенолитами или без них) только редкие включения в сульфидной основной массе. При этом проявляются разнообразные структуры и текстуры руд: вкрапленные различной интенсивности, брекчиевидные и сплошные (от мелко- до крупнозернистых). Сплошные руды (как в оффсетах, так и в других типах) обычно имеют петельчатую структуру, выраженную в цементировании пирротиновых выделений халькопиритовой и пентландитовой массой. Такие соотношения устанавливаются только при кристаллизации сульфидного расплава. Поэтому они являются надежным признаком, позволяющим отличать гидротермальные руды от магматических.

Вкрапленные, сплошные и брекчиевидные руды вмещающих пород нередко непосредственно ответвляются от руд норитов и кварцевого диорита, приурочиваются к тектонически ослабленным зонам, располагаются на контакте норитов и оффсетов с окружающими толщами.

На большинстве месторождений устанавливается зональность в распределении рудных интервалов рудогенных компонентов: увеличение количества пентландита и халькопирита по отношению к пирротину и халькопирита относительно пентландита в направлении краевых частей рудных тел (обычно к подстилающим породам), увеличение содержания меди по восстанию рудных тел, скопление второстепенных минералов (кубанита, магнетита, борнита) в отдельных участках рудных залежей.

Изотопный состав серы медно-никелевых руд месторождений Садбери наиболее полно изучен Х. Шварцем, который показал, что в целом по месторождениям  $\delta^{34}\text{S}$  изменяется в пределах от  $+0,5$  до  $7,2$  ‰.

По минеральному (существенно пирротиновому) и химическому ( $\text{Ni}:\text{Cu}=2:1$ ) составу, а также соотношению изотопов серы ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{ср}}=+2$  ‰) сульфиды месторождений Садбери относятся к медно-никелевым рудам, генетически связанным с относительно высокотемпературными ультраосновными магмами ( $\text{MgO}$  15—30 %).

Соотношение вкрапленных выделений сульфидов с минералами несущих их магматических пород и структурно-текстурные особенности массивных руд (петельчатая структура) свидетельствуют о кристаллизации основной массы сульфидного вещества месторождений Садбери из магматического расплава.

*Месторождения трапповых образований (норильский тип).* К этому типу относятся месторождения Норильского района и Инсизвы (Южная Африка).

Месторождения Норильского района. Медно-никелевые месторождения Норильского района размещаются в краевой северо-западной части Сибирской платформы и связаны с обогащенными рудным веществом интервалами протяженных пологозалегающих магматических колонн неоднородного (эшелонированного) строения (рис. 11).

Рудоносные массивы (обогащенные рудным веществом интервалы колонн) в вертикальном разрезе дифференцированы от контактовых, такситовых и пикритовых габбро-долеритов внизу до оливиновых, безоливиновых габбро-долеритов и габбро-диоритов вверх. Скопле-

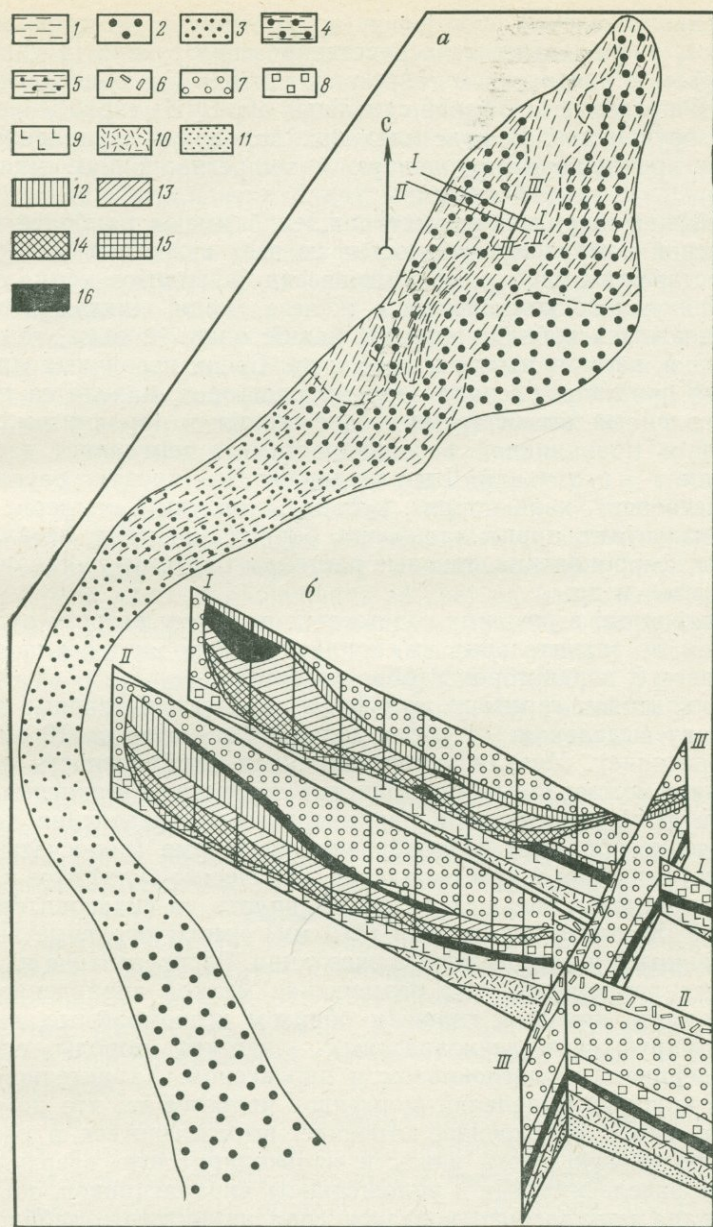


Рис. 11. Схема строения рудоносной интрузии в плане (а) и в разрезах (б). По А. П. Лихачеву.

1—3 — зоны магматической колонны (1 — головная — лейкократовое габбро и таксито-пойкило-офитовый габбро-долерит, 2 — рудная, 3 — обедненные рудным веществом); 4 — участки наложения рудной зоны на головную; 5 — участки наложения зоны (обедненной рудным веществом) на головную зону; 6—10 — базальты (6 — порфировые, 7 — толентовые, 8 — двуплагиоклазовые, 9 — андезит-базальты, 10 — с титанистым авгитом); 11 — породы тунгусской серии (песчаники, алевролиты, аргиллиты, угли); 12—15 — габбро-долериты (12 — безоливиновые, 13 — оливиновые, 14 — перидотитовые, 15 — такситовые и контактовые); 16 — лейкократовое габбро; 1—1, II—II, III—III — линии разрезов

ния медно-никелевых сульфидов приурочены к придонным частям массивов, располагаясь непосредственно в интрузиве (в пикритовом, такситовом и контактовом габбро-долеритах) и в подстилающих породах. В пределах интрузива сульфиды образуют вкрапленную и массивное оруденение. В подстилающих породах — вкрапленную, массивную, жилково-вкрапленную и импрегнационную минерализацию.

Сульфиды норильских месторождений имеют наиболее сложный химический и минеральный состав из всех известных медно-никелевых месторождений мира. Из химических элементов кроме основных рудообразующих компонентов — железа, меди, никеля и серы — в них содержатся кобальт, кадмий, индий, олово, сурьма, теллур, свинец, галлий, висмут, мышьяк, цинк и др. Среди первичных минералов, включая продукты распада твердых растворов, находятся пирротин, представленный всеми тремя модификациями (троилитом, гексагональной и моноклинной разновидностями), пентландит (зернистый пентландит — пентландит I и пентландит II — продукт распада твердых растворов), халькопирит, кубанит, моихукит, миллерит, годлевскит, хизлевудит, пирит, халькозин, борнит, магнетит, металлическая платина, ферроплатина, твердые растворы платины, палладия, олова, звягинцевит и др.

Сульфидные выделения содержатся по всему разрезу рудоносных интрузий, но значительные их скопления наблюдаются в пикритовом, такситовом и контактовом габбро-долеритах.

В пикритовом горизонте сульфиды образуют различные по форме и размеру выделения (от сотых долей миллиметра до 10 см и более в поперечнике). Мелкая интерстиционная вкрапленность ( $\leq 2$  мм) заполняет межзерновые пространства силикатных и окисных минералов. На фоне относительно равномерного распределения по породе они нередко образуют разнообразные по форме (полосчатые, округлые, неправильные и др.) скопления, количество сульфидов в которых иногда достигает больших значений, вплоть до сидеронитовых соотношений. Крупные вкрапления ( $> 2$  мм) имеют округлые вытянутые (уплощенные) и ксеноморфные очертания. Распределение их по породе менее равномерно, чем размещение мелкой вкрапленности. Довольно часто крупные, главным образом ксеноморфные, выделения концентрируются в лейкократовых участках породы, сложенных крупнозернистым плагиоклазом и пироксеном. Характерной особенностью крупных выделений сульфидов является то, что по существу все они имеют расслоенное строение, выражающееся в разделении на пирротиновую часть внизу и халькопиритовую вверх. Причем граница расслоения, как и уплощенность вкрапленников, обычно ориентирована параллельно контакту слоя пикритового габбро-долерита с другими дифференциатами и пограничным линиям интрузива в целом. Во многих выделениях самую верхнюю часть вкрапленника (обычно выше халькопирита) занимают вторичные окисные и силикатные (в том числе содержащие летучие компоненты) минералы: пироксен, плагиоклаз, роговая обманка, биотит, апатит, тальк, хлорит, серицит, кальцит, цеолиты, гранат и др. Соотношение сульфидов с первичными окисными и силикатными минералами не проявляется

каких-либо признаков взаимных реакций, тогда как вторичные силикаты и окислы, в частности составляющие верхнюю оторочку вкрапленников, нередко замещают сульфидное вещество. Сульфидные вкрапления в большей части изолированы друг от друга. Крупные вкрапления иногда окружаются ореолом повышенной концентрации мелких выделений. В состав вкрапленников кроме пирротина и халькопирита входят пентландит, кубанит, магнетит, борнит. Халькопирит занимает не только верхнюю часть вкрапленника, но и периферическую часть пирротинового дифференциата, отгораживая его от окружающей окисно-силикатной массы. Пентландит представлен зернистой разновидностью (пентландит I) и мелкими выделениями в пирротине и халькопирите (пентландит II). Зернистая разновидность пентландита размещается на границе пирротина с халькопиритом и на контакте халькопирита с силикатными окисными минералами. Первичный магнетит (магнетит I) образует изометрические зерна, распределенные по всему объему сульфидного вкрапленника. Пирротин в основном представлен гексагональной разновидностью и троилитом. Кубанит распространен не повсеместно, обычно содержится в дефицитных по сере вкраплениях (где пирротиновая фракция представлена троилитом), образует зернистые и пластинчатые выделения в халькопиритовой части вкрапленника за счет распада халькопиритового твердого раствора. В аналогичной ситуации обнаруживаются моихукит и талнахит, которые также являются продуктами распада промежуточного (халькопиритового) твердого раствора. В некоторых местах, в частности в южной части норильской рудоносной магматической колонны, во вкрапленниках наряду с халькопиритом содержится борнит.

Рудные минералы вкрапленников образуют строго определенные ассоциации, изменяющиеся по составу от сравнительно бедных до обогащенных серой разновидностей: пентландит+талнахит (+моихукит)+кубанит+троилит; пентландит+халькопирит+кубанит+троилит; пентландит+халькопирит+кубанит+троилит+гексагональный пирротин; пентландит+халькопирит+кубанит+гексагональный пирротин; пентландит+халькопирит+гексагональный пирротин+моноклинный пирротин; пентландит+халькопирит+моноклинный пирротин. Некоторые (обычно мелкие интерстиционные) выделения имеют мономинеральный состав — сложены одной из главных минеральных фаз.

Выявляется определенная закономерность в распределении перечисленных ассоциаций в пределах интрузивного тела: наименее сернистые разновидности локализуются в центральной и верхней частях рудоносного горизонта, обогащенные серой ассоциации занимают его периферические и нижние части, а умеренные по содержанию серы разновидности — промежуточное положение, т. е. имеет место сравнительно постепенная смена ассоциаций от центральной и верхней частей горизонта сульфидной вкрапленности к его периферическим и нижним частям; устанавливается также обогащенность серой сульфидов, приуроченных к лейкократовым крупнозернистым обособлениям, находящимся в пикритовом габбро-долерите.

Вкрапленность в такситовых габбро-долеритах отличается прежде всего своей ксеноморфностью. В крупнозернистых участках этой породы сульфиды образуют преимущественно крупные (до 10 см) выделения, тогда как в мелкозернистых частях преобладает интерстиционная мелкая разновидность. Большая часть сульфидных вкраплений расслоена на халькопиритовую часть вверху и пирротиновую внизу, что хорошо видно макроскопически в укрупненных разновидностях вкрапленности. Соотношения сульфидов с окружающими окисными и силикатными минералами не проявляют заметных признаков взаимного воздействия и наложения. Как правило, порообразующие минералы (в том числе флюидсодержащие фазы — амфибол, биотит, апатит) имеют идиоморфные очертания на контакте с сульфидами, нередко глубоко вдаются в них и цементируются ими. Среди рудообразующих сульфидных минералов такситового габбро-долерита находятся гексагональный и моноклинный пирротин, халькопирит, пентландит и кубанит при самом различном распределении минеральных фаз: от мономинеральных выделений до нахождения всех пяти фаз в одном вкрапленнике.

В контактовых габбро-долеритах сульфидные образования представлены в основном мелкой интерстиционной вкрапленностью, которая в некоторых случаях (при большой насыщенности сульфидов) переходит в сидеронитовую. По минеральному составу рудные ассоциации аналогичны сульфидам такситового габбро-долерита.

Вкрапленное и прожилково-вкрапленное (импрегнационное) оруденение наблюдается в самых разнообразных по составу породах, окружающих (главным образом подстилающих) рудосные интрузивные массивы: в плотных и миндалекаменных базальтах, песчаниках, сланцах, мергелях, известняках, графитизированных углях, скарнах, доломитах, роговиках, ангидритах и др., а также в ранее образованных дифференциатах магматической колонны — лейкократовом габбро, таксито-пойкилоофитовых и оливиновых габбро-долеритах. Размеры сульфидных вкраплений изменяются от сотых долей миллиметра до 10 см и более. Форма вкраплений в значительной мере определяется составом и структурой вмещающих пород, изменяется от ксеноморфных до изометрических и округлых (иногда уплощенных) выделений. По составу сульфидные вкрапления изменяются от существенно пирротиновых (халькопирит-пирротиновых) до богатых медью халькопирит-борнит-миллеритовых ассоциаций. В некоторых вкраплениях наблюдается дифференциация сульфидного вещества на халькопиритовую часть вверху и пирротиновую внизу, подобно тому, как это имеет место во вкрапленности, находящейся в интрузивном теле. Иногда в верху вкраплений отмечается присутствие биотита, амфибола и существенно калишпатовых (аплитовидных) выделений.

Прожилковая и импрегнационная минерализация больше характерны для плотных монолитных и слоистых пород, где сульфиды выполняют различно ориентированные трещины, возникающие в монолитных породах, и межслоевые пространства. Соотношения сульфидного вещества с вмещающими породами почти всегда реакционные — сульфиды постоянно проявляют признаки замещения порообразующих минералов.

Нередко экзоконтактовые вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды имеют зональное строение, изменяясь в химическом и минеральном составе (по направлению от интрузива) от существенно пирротиновых (халькопирит-пентландит-пирротиновых) до миллерит-халькопирит-пиритовых разностей.

Массивное оруденение представлено жилообразными, линзообразными и пластовыми телами. Состав и строение массивных руд не зависят от вида вмещающих пород. Устанавливается лишь изменение состава массивных сульфидов с удалением от интрузивного тела: руды, залегающие в пределах интрузива и около его контактов, обычно имеют существенно пирротиновый (халькопирит-пентландит-пирротиновый) состав, а рудные ассоциации, удаленные от интрузива, характеризуются повышенной медистостью. Причем это изменение в составе фиксируется как в едином рудном теле, так и в разобщенных телах. В целом же изменение минерального состава массивных руд по мере удаления от интрузивных тел аналогично изменению состава вкрапленных экзоконтактовых руд. Нередко параллельность и однотипность изменения в составе массивного и вкрапленного оруденения можно наблюдать в едином разрезе.

Общая закономерность в строении массивных рудных залежей состоит в изменении их состава от существенно пирротиновых (бедных медью) разностей, обычно занимающих большую (нижнюю) часть залежи, через халькопирит-кубанитовые ( $\pm$ моихукит, талнахит), умеренные по содержанию меди, до богатых медью разновидностей (халькопирит-пентландитовые, халькопирит-борнитовые, борнит-халькозинитовые и др.), обычно составляющих периферические и верхние части массивных рудных тел.

Кроме того, устанавливается зональность в распределении серы, выражающаяся в обогащении периферических частей существенно пирротиновых залежей данным элементом и образовании здесь ассоциаций, содержащих моноклинный пирротин, тогда как в центральных частях тел доминируют гексагональный пирротин и троилит.

Для существенно пирротиновых руд Н. Н. Шишкиным, Г. А. Митенковым и другими установлено изменение содержания никеля в сосуществующих пирротине и пентландите. В обогащенных серой ассоциациях пирротин и пентландит более богаты никелем по сравнению с ассоциациями, пирротинная фаза которых представлена гексагональной модификацией или троилитом, подобно тому, как это было определено впоследствии А. Д. Генкиным и другими для вкрапленных руд в интрузии. В пирротинах массивных руд весовое содержание никеля возрастает от троилита к гексагональному и моноклинному пирротину (от 0,70 до 0,64 %); кобальт равномерно распределяется во всех модификациях и генерациях (от 0,03 до 0,85 %). Весовое содержание меди возрастает от ранних генераций пирротина к поздним (от 0,0 до 0,73 %), независимо от их структурной модификации.

Изотопный состав серы сульфидов рудных интервалов норильских магматических колонн изучался Л. Н. Гриненко, В. А. Коваленкером и другими в изотопной лаборатории ЦНИИГРИ, в которой выполнено около 300 анализов. В результате установлено, что в первично

магматических сульфидах  $\delta^{34}\text{S}$  изменяется в пределах от +4 до +14 ‰. При этом выявляется следующая закономерность: чем больше сульфидного вещества в анализируемом теле (во вкрапленном типе оруденения) и чем ниже в нем значение Ni/Cu, тем более оно обогащено тяжелым изотопом серы. Наиболее низкие значения  $\delta^{34}\text{S}$  свойственны наименее оруденелым магматическим разностям — безоливиновым и оливиновым габбро-долеритам, сульфиды которых представлены мелкими редкими выделениями существенно пирротинового состава.

## ПОИСКОВЫЕ МЕТОДЫ И ИХ РАЗРЕШАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Для обнаружения медно-никелевых месторождений используются геологические, геохимические и геофизические методы, которые применяются при мелко- (1 : 1 000 000), средне- (1 : 200 000) и крупномасштабном (1 : 50 000) прогнозировании, общих (1 : 25 000) и детальных (1 : 10 000 и 1 : 5000) поисках и при оценочных работах, т. е. выявлении никеленосных провинций, зон, рудных районов, полей месторождений и рудных тел.

**Геологические методы** включают геологическое картирование (поиски методом геологической съемки), валунные и шлиховые поиски. При этом выполняются: маршрутные работы с документацией и опробованием обнажений, валунов, речных и ледниковых отложений и площадным картированием; бурение скважин и проходка горных выработок, сопровождаемые химическим и физическим изучением горных пород, руд и минералов, формационным, тектоническим, петрологическим, петрохимическим, минералогическим и геохимическим анализами рудоносных образований и др.

В обстановках полного перекрытия рудоносных тел базальтовыми толщами геологические методы обеспечивают выявление потенциально рудоносных объектов на уровнях никеленосной провинции, зоны и рудного района. В случае выхода рудоносных магматических тел на земную поверхность или пересечения их буровыми скважинами появляется возможность выделить рудные поля, месторождения и рудные тела. При полном перекрытии рудоносных объектов трансгрессивными образованиями геологические методы эффективны только в случае пересечения рудоносных тел буровыми скважинами и наличия сульфидоносного обломочного материала.

**Геохимические методы** применяются на стадиях выявления рудных полей, месторождений и рудных тел. Они включают почвенное, литогеохимическое и геохимическое опробование с проведением анализов на основные рудные элементы и ряд сопутствующих элементов. Почвенная геохимия дает положительные результаты только при выходе рудоносных массивов на земную поверхность, а литогеохимический и гидрохимический методы применимы как на открытых, так и на закрытых территориях.

Геофизические методы по существу на всех стадиях геологоразведочного процесса выполняют вспомогательную роль и применяются совместно с геологическими и геохимическими методами. В комплексе геофизических методов, применяемых при поисках медно-нике-

левых месторождений, входят космо- и аэросъемка, магнито-, грави-, сейсмо- и электроразведка, методы скважинной геофизики.

При выявлении никеленосных провинций используются космические снимки в м-бе 1 : 1 000 000. В процессе определения потенциально рудоносных зон и рудных районов применяются аэромагнитная съемка, грави-, сейсмо- и электроразведка в м-бах 1 : 500 000 и 1 : 200 000. При выявлении рудных полей и месторождений привлекаются аэромагнитная съемка и гравиразведка в м-бах 1 : 50 000—1 : 25 000, сейсморазведка (профили через 5—10 км), отдельные зондирования методом преломленных волн (примерно одно-два зондирования на 1 км<sup>2</sup>). Для обнаружения рудных тел применяются наземная магнитная съемка в м-бах 1 : 10 000—1 : 5000, электроразведка, скважинные методы (каротаж, магнитометрия, сейсмо-, электроразведка и радиоволновое просвечивание).

Ниже рассмотрены возможности основных геофизических методов.

*Методы магниторазведки* наиболее эффективны в районах, где отсутствуют или имеются небольшие по мощности (менее 500 м) базальтовые толщи и рыхлые отложения, перекрывающие рудовмещающие горизонты. В этих условиях магниторазведка позволяет выявлять перспективные на медно-никелевые руды магматические тела, уточнять их местоположение, оценивать размеры и конфигурации, т. е. используется на всех стадиях поисков.

*Методы гравиразведки* дают положительный эффект как на открытых от базальтовых покровов, так и на закрытых площадях при выявлении перспективных на медно-никелевые руды магматических тел, залегающих на глубинах до 1500 м. Для закрытых базальтами районов это единственный метод, позволяющий обнаруживать и прослеживать потенциально рудоносные магматические тела на больших глубинах.

*Методы электроразведки* широко применяются в поисковых работах, но их возможности существенно ограничиваются сложностью геологической среды, в частности наличием в рудоконтролирующих толщах электропроводящих тел — колчеданного оруденения, графитизированных и углистых горизонтов.

Электроразведка методом высокочастотного зондирования (ВЭЗ) позволяет выделять рудоперспективные магматические тела на глубинах до 500 м, но для этого требуется высокая степень однородности геоэлектрического разреза перекрывающих толщ и вмещающих магматические тела сред. При сложном (неустойчивом) геоэлектрическом разрезе применение метода неэффективно.

Метод переходных процессов в модификации зондирования (ЗМПП) с аппаратурой «Цикл» может применяться для поисков крупных залежей богатых медно-никелевых руд на открытых площадях (при отсутствии перекрывающих базальтовых толщ) до глубины 600 м. При наличии в разрезе других электропроводящих тел результаты метода не обеспечивают однозначного решения в отношении принадлежности обнаруживаемых объектов к медно-никелевым рудам.

Метод вызванных потенциалов (ВП) может фиксировать рудные объекты на глубинах до 200 м как на открытых, так и на закрытых базальтами площадях; выявлять сульфидные залежи и метаморфические ореолы интрузий в околоскважинном пространстве.

Метод магнитотеллурических зондирований (МТЗ) позволяет выделять в разрезе маркирующие геоэлектрические горизонты и может использоваться только для выяснения структурных вопросов при изучении потенциально рудоносных разрезов.

Метод мелкомасштабного заряда (ММЗ) позволяет получать сведения о структурах известных рудных полей при оценке перспектив их флангов и глубоких (до 1000 м) горизонтов.

Метод заряда с измерением магнитного поля (МЗМ) дает возможность проследивать известные зоны оруденения и околонинтрузивные метаморфические ореолы на глубинах до 2000 м.

*Методы сейсморазведки* в настоящее время применяются в основном для решения структурных задач.

Метод отраженных волн (МОВ) позволяет проследивать опорные горизонты на глубинах до 2,5 км.

Метод преломленных волн (МПВ) может использоваться для выяснения структурных вопросов в открытых (без базальтового покрова) районах и на площадях с перекрывающими эффузивами мощностью до 1500 м. Этот метод особенно эффективен при изучении эрозионной поверхности коренных пород, погребенных под рыхлыми осадками.

Метод объемных волн землетрясений (МОВЗ) используется для изучения глубинного строения земной коры и верхней части мантии и позволяет по различной скорости прохождения сейсмических волн выявлять неоднородности разреза с оценкой мощности горизонтов; выделять крупные дизъюнктивные дислокации и устанавливать пространственную взаимосвязь рудного района с сопредельными территориями; изучать эрозионную поверхность коренных пород с определением мощности перекрывающих рыхлых отложений.

*Скважинная геофизика.* Большая часть методов скважинной геофизики в настоящее время не имеет применения при поисках медно-никелевых руд. Это связано с особыми условиями поисков: с большими глубинами залегания рудных тел и большими расстояниями между скважинами, со специфическими особенностями разреза рудовмещающих толщ. Именно это обусловило отрицательные результаты применения в ряде районов таких методов, как радиоволновое просвечивание (РВП и ДРВП), скважинные варианты ВП и др.

Опробованы и частично внедрены в производство скважинная магнитометрия, метод заряда в модификации мелкомасштабного заряда и заряда с измерением магнитной составляющей, дипольное электромагнитное профилирование и скважинная сейсморазведка в варианте отраженных волн.

Дипольное электромагнитное профилирование в скважинах (ДЭМПС) применяется для выявления рудных тел в окрестностях скважин в радиусе нескольких десятков метров с оценкой формы и размеров рудных объектов.

Скважинная сейсморазведка в варианте отраженных волн применяется для детального структурного картирования около-, межскважинного и лежащего ниже забоя скважин пространства; определения места выклинивания пересеченных скважиной интрузивных тел на расстояниях до 800 м. Имеются попытки применения скважинной сейсморазведки с целью прямых поисков крупных массивов рудных тел.

Скважинная магниторазведка может эффективно использоваться для уточнения местоположения и выявления в околоскважинном пространстве магнитоактивных объектов — рудоносных интрузий и сульфидных залежей.

*Каротажные работы* включают большой перечень методов. В их задачу входит: выявление рудных интервалов в разрезе скважин и оценка размеров рудных тел; расчленение разреза пересеченных скважиной толщ; контроль технического состояния скважины.

Таким образом, из изложенного выше материала видно, что в настоящее время геофизические методы в основном применяются для изучения структурных и литологических характеристик разрезов, выяснения поисковых критериев с целью оценки перспективности площадей, уточнения направлений работ поискового бурения. Эффективные геофизические методы прямого поиска медно-никелевых объектов отсутствуют.

#### **ТИПОВЫЕ МОДЕЛИ, КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ ПОИСКОВ РУДНЫХ ПОЛЕЙ, МЕСТОРОЖДЕНИЙ И РУДНЫХ ТЕЛ**

Исходя из изложенного выше материала можно выделить следующие шесть модельных типов рудных полей, месторождений и рудных тел: норильский, печенгский, западноавстралийский, аллареченский, мончегорский и садберский.

*Норильский тип* представляют месторождения Норильского района и Инсизвы (Южная Африка). Рудное поле месторождений выражается группой сульфидоносных пологозалегающих интрузивных тел, приуроченных к центриклиналям мульдообразных прогибов и их продолжению в сторону центральных частей мульды, через которые проходит зона глубинного разлома. Для этого типа месторождений характерны: прогнутая граница Мохоровичича; повышенная мощность коры и гранито-гнейсового комплекса; большая протяженность ( $\geq 10$  км) интрузий (колонн) в направлении их погружения при незначительных поперечных размерах; хонолитообразная, лентовидная и трубообразная формы тел; дифференцированность колонн по протяженности и в поперечном сечении (фронтальная часть представлена силлообразным телом лейкократового габбро и таксито-пойкилоофитового габбро-долерита, поперечный разрез изменяется от контактового, такситового и пикритового габбро-долеритов внизу до безоливиновых габбро-долеритов и диоритов сверху); наличие явной и скрытой медно-никелевой минерализации в пределах интрузий; геохимические и гидрохимические аномалии никеля, меди, платиноидов; геофизические аномалии, фиксирующие наличие протяженных интрузивных тел того залегания. Методы поисков включают: глубинное геологическое

картирование в м-бе 1 : 50 000 с минералого-петрологическим и геохимическим изучением магматических тел; геохимические поиски в м-бе 1 : 50 000, аэромагнитную съемку и гравиразведку того же масштаба, сейсморазведку (МОВ, профили через 3—5 км), отдельные зондирования МПВ с ВСК-1 или со станциями типа СНЦ-3 (одно-два зондирования на 1 км<sup>2</sup>).

Месторождения представляют рудоносные интервалы и ветви протяженных сульфидоносных магматических колонн субгоризонтального (межформационного) залегания, размещающиеся в «критической» зоне никеленосной структуры. Для них характерны дифференциация магматического тела по вертикали от обогащенных сульфидами контактовых, такситовых и пикритовых габбро-долеритов внизу до безрудных оливинсодержащих и безоливиновых габбро-долеритов вверху; наличие в верхнем эндоконтакте фрагментов лейкократового габбро, такситового и пикритового габбро-долерита; наличие в нижнем эндоконтакте и в подстилающих породах вкрапленных и массивных руд; мощные (до 150 м) экзоконтактные зоны, содержащие медно-никелевую минерализацию; обогащенность сульфидного вещества медью [ $Ni : Cu = 1 : (1,2 \div 2,5)$ ] и тяжелым изотопом серы [ $\delta^{34}S = + (7 \div 14) \text{‰}$ ], повышенное содержание  $Cr_2O_3$  (0,5—2 %) в пикритовых горизонтах с проявлением хромитовой минерализации; геохимические аномалии никеля, меди и платиноидов во вмещающих породах, геофизические аномалии, свидетельствующие о наличии в массиве медно-никелевых руд. Возможны следующие виды обстановок ведения поисков: полное перекрытие территории (объекта поисков) мощной (от десятков метров до 2000 м) субгоризонтальной и слабонаклонной толщей базальтовых потоков и комагматичных им пластовых интрузий; полное отсутствие (в результате эрозии) базальтового покрова и выхода рудоносных интрузивных массивов и рудных тел на земную поверхность; отсутствие экранирующего базальтового покрова, но наличие перекрытия выходов рудоносных интрузивных тел более поздними трансгрессивными образованиями; сочетание предыдущих обстановок. Методы поисков включают глубинное геологическое картирование в м-бе 1 : 25 000 с минералого-петрологическим и геохимическим изучением рудной минерализации, магматических тел и их экзоконтактов; геофизические (аэро-, грави-, сейсморазведка и электроразведка) и геохимические поиски в м-бе 1 : 25 000.

Рудное тело составляют придонные части рудоносных интервалов сульфидоносных магматических колонн (дифференцированных массивов норильского типа), которым свойственны вкрапленное оруденение в пикритовых, такситовых и контактовых горизонтах, массивные, вкрапленные, прожилково-вкрапленные руды в подстилающих породах; геохимические аномалии никеля, меди, платиноидов, указывающие на наличие рудных тел; геофизические аномалии. Требуется выполнение геологоразведочных работ стадии детальных поисков (м-б 1 : 10 000) с минералогическим, геохимическим и технологическим изучением руд; геохимические и геофизические работы в м-бах 1 : 10 000—1 : 5000 наземная магнитная съемка, электроразведка, скважинные методы — каротаж, магнитометрия, сейсмометоды, электроразведка.

*Печенгский тип* представляют месторождения Печенги и геосинклинального пояса Кейп Смит-Уэйкхем Бей на севере пров. Квебек (Канада)\*.

Рудное поле представлено группой сульфидоносных ультрабазитовых и базит-гипербазитовых тел межформационного залегания, приуроченных к горизонту туфогенно-осадочных отложений. Для этого типа характерны: верлитовый состав серпентинизированных ультрабазитов, отличающихся пониженным содержанием  $MgO$  (25—30 %); наличие видимой и скрытой (микроскопической) медно-никелевой минерализации в ультраосновных породах и во вмещающих магматические тела толщах.

Месторождение составляют отдельные (изолированные) рудоносные базит-гипербазитовые и ультрабазитовые тела, находящиеся в «критическом» (продуктивном) горизонте никеленой структуры. Характерны: пироксенит-верлитовый состав ультрабазитов; обогащенность сульфидами придонных частей массивов и их экзоконтактов; пониженное содержание в сульфидах меди ( $Ni:Cu=2:1$ ) и тяжелого изотопа серы [ $\delta^{34}S = + (2 \div 5) \text{‰}$ ]. Обстановки ведения поисков отличаются тем, что месторождения печенгского типа связаны с изолированными сравнительно небольшими телами крутонаклонного залегания, находящимися среди дислоцированных толщ.

Рудное тело составляют придонные части габбро-пироксенит-перидотитовых и перидотитовых (верлитовых) массивов и их экзоконтакты. Характерны: вкрапленное и богатовкрапленное оруденение в эндо- и экзоконтактах массивов; сплошные (жильные), брекчиевидные, прожилково-вкрапленные руды в подстилающих породах.

*Западноавстралийский тип* объединяет месторождения коматиитов, находящихся в архейских осадочно-вулканогенных супракрустальных образованиях: Блока Йилгарн, Канадского и Родезийского кратонов.

Рудное поле включает группы линзовидных субсогласных и секущих дайкообразных ультрабазитовых тел, размещающихся среди осадочно-вулканогенных супракрустальных образований, первые из которых нередко оконтуривают гранитоидные выступы и купола. Для этого типа месторождений характерны: перидотитовый состав субсогласных тел и высокомагнезиальный дунитовый ( $MgO \sim 50 \%$ ) — дайковых, испытавших серпентинизацию, оталькование, хлоритизацию и карбонатизацию; наличие спинифексовых структур в субсогласных массивах, а также скрытой и явной медно-никелевой минерализации в ультрабазитах и во вмещающих породах.

Месторождение представляют группы одиночных тел рудоносных перидотитовых коматиитов, занимающие субсогласное крутонаклонное и пологое положения; части секущих дайкообразных тел (см. рис. 6, 7). Для них характерны: обогащенность сульфидами придонных частей перидотитовых тел и их экзоконтактов (особенно в при-

---

\* В связи с тем что рассмотренные выше методы и масштабы поисков рудных полей, месторождений и рудных тел, а также геофизические и геохимические признаки объектов в целом одинаковы для всех типов, ниже, при описании последующих типов, эти данные не приводятся.

донных впадинах), центральных и краевых частей дунитовых массивов, низкое содержание в сульфидах меди  $[Ni : Cu = (4 \div 10) : 1]$  и тяжелого изотопа серы  $[\delta^{34}S = (-1) \div (+3) \text{‰}]$ ; зональное строение ультрабазитов (тальковые, серпентинитовые и карбонатные зоны). Обстановки ведения поисков месторождений соответствуют тому же перечню ситуаций, что и в рассмотренных выше типах.

Рудное тело составляют эндо- и экзоконтактные части и прогибы в подстилающих породах субсогласных перидотитовых тел (см. рис. 7); центральные и краевые части дайковых тел измененных дунитов. Характерны вкрапленные, брекчиевидные, матричные и массивные руды в эндо- и экзоконтактных частях субсогласных тел измененных перидотитов, преимущественно вкрапленное оруденение массивов измененных дунитов.

*Аллареченский тип* включает месторождения, находящиеся в границах гнейсовых образованиях инфраструктур Аллареченского района на Кольском полуострове, поясов Нельсон-Ривер и Инглиш-Ривер в Канаде и др.

Рудное поле составляют группы небольших по размеру сульфидоносных гипербазитовых тел, приуроченных к тектонически нарушенным зонам. Характерны: пироксенит-оливинит-гарцбургитовый состав пород, подвергшихся серпентинизации, амфиболизации, оталькованию, хлоритизации; пониженная магнезиальность пород ( $MgO \leq 30 \text{‰}$ ); наличие макроскопически видимой и скрытой (микроскопической) медно-никелевой минерализации в ультрабазитах и во вмещающих породах.

Месторождение представляют отдельные рудоносные тела ультрабазитов, приуроченные к тектонически нарушенным зонам фундамента щитов (см. рис. 9). Характерны: пироксенит-оливинит-гарцбургитовый состав ультрабазитов; обогащенность медно-никелевыми сульфидами нижних частей магматических тел и их экзоконтактов; низкое содержание в сульфидах меди  $[Ni : Cu = 2 \div 10) : 1]$  и тяжелого изотопа серы  $[\delta^{34}S = (-2) \div (+3) \text{‰}]$ .

*Мончегорский тип* объединяет месторождения, связанные с крупными стратифицированными базит-гипербазитовыми плутонами архейского и протерозойского возраста Мончегорского района, Бушвельдского и других магматических комплексов.

Рудное поле составляет группа интрузивных сульфидоносных блоков крупных стратифицированных базит-гипербазитовых комплексов. Характерны: стратифицированность разреза магматических тел при изменении состава от перидотитовых горизонтов внизу до пироксенитовых и габброидных сверху с проявлением тонкой расчлененности и неоднородности в каждом горизонте; наличие явной и скрытой медно-никелевой минерализации практически во всех горизонтах.

Месторождение включает рудоносные блоки (участки тела) стратифицированных интрузивных комплексов базит-гипербазитового состава. Характерны: стратифицированное строение тел, содержащих в верхних горизонтах вкрапленную сульфидную минерализацию, в средних — вкрапленные и жильные руды, в придонных частях и экзоконтактах — вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение;

сульфиды ультрабазитов имеют пониженное содержание меди\* ( $Ni : Cu = 1 : 1$ ) и тяжелого изотопа серы [ $\delta^{34}S = (-1) \div (+4) \text{‰}$ ].

Рудное тело представлено участками средних и придонных частей стратифицированных рудоносных магматических массивов. Характерны: вертикально ориентированные сульфидные жилы и вкрапленное оруденение в средних частях массивов; вкрапленная и прожилково-вкрапленная медно-никелевая минерализация в эндо- и экзоконтактных зонах плутонов.

Месторождения садберского типа связаны с породами габбро-норит-диоритового состава, приуроченными к краевым частям крупных габброидных магматических тел типа Садбери, либо образующих небольшие слабодифференцированные интрузивные массивы, аналогичные габбро-норитовым телам Тимана, Воронцовской структуры Воронежского кристаллического массива и других районов.

Рудное поле составляют сульфидоносные части краевой зоны габбро-норит-фельзитовых плутонов и группы сульфидоносных крутонаклонных габбро-норит-диоритовых тел в фундаменте платформ. Характерны: наличие обедненной медью сульфидной минерализации в сравнительно кислых породах — габбро-кварцевых норитах, диоритах, содержащих многочисленные ксенолиты различных магматических, метаморфических и осадочных пород; геохимические аномалии меди, никеля, платиноидов во вмещающих породах.

Месторождение составляют рудоносные блоки краевых частей крупных лополитов и изолированные массивы габбро-норит-диоритового состава. Характерны: крутое залегание и слабая расслоенность тел при неоднородном («ксенолитовом») составе сульфидоносных горизонтов; наличие в краевых частях массивов и в окружающих (вмещающих) породах вкрапленных, брекчиевидных и массивных руд; пониженное содержание в сульфидах меди [ $Ni : Cu = (2 \div 10) : 1$ ] и тяжелого изотопа серы [ $\delta^{34}S = (-1) \div (+3) \text{‰}$ ]. По обстановкам ведения поисков месторождения садберского типа подобны рассмотренным выше месторождениям мончегорского типа.

Рудное тело представляет собой части рудоносных зон габбро-норит-диоритовых массивов и их экзоконтактов (см. рис. 10). Характерны: вкрапленное оруденение в краевых зонах массивов; сплошные, вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в эндо- и экзоконтактах магматических тел и во вмещающих породах.

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ПОИСКОВ И ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Схема последовательности проведения прогноза, поисков и оценки медно-никелевых месторождений приведена в табл. 3. Выполнение работ, согласно этой схеме, обеспечивает выделение и обнаружение главных металлогенических категорий и рудоносных объектов: никеленосных провинций, рудоносных зон, рудных районов, полей, месторождений, рудных тел.

\* При габброидном составе плутона, подобном Дулутскому комплексу, сульфиды характеризуются высоким содержанием [ $Ni : Cu = 1 : (2 \div 5)$ ].

**Последовательность поисков и оценки никеленосных комплексов  
и медно-никелевых месторождений**

Последовательность выделения объекта	Потенциальность объекта	
	перспективные	бесперспективные
Никеленосная провинция	Никеленосные (сульфидоносные) мафит-мезомафические продукты магматизма	Бессульфидные мафит-ультрамафические продукты магматизма офиолитового типа
Рудоносная зона	Сульфидоносные (ЭИК)* и (ИК)**	
Рудный район	Рудоносные мезомафические разности ЭИК и ИК	Бессульфидные мафические разности ЭИК и ИК
Рудное поле	Интрузивные массивы (колонны) эшелонированного строения и потоки ЭИК; крупные стратифицированные интрузивные массивы ИК	
Месторождение	Магнезиальные рудоносные интервалы массивов (колонн) и потоков ЭИК, представленные зонами непрерывных колонн и потоков (недислоцированные районы) или расчлененными (изолированными) частями колонн и потоков (дислоцированные районы); магнезиальные рудоносные средние и нижние горизонты массивов (ИК), находящиеся в глубоком погружении или обнаженные и приближенные к поверхности	Лейкократовые и меланократовые бедные сульфидами интервалы колонн и потоков ЭИК и верхние части массивов ИК
Рудное тело	Придонные части рудоносных тел ЭИК и нижние части рудоносных горизонтов ИК	Слаборудоносные верхние части рудоносных тел ЭИК и горизонтов ИК

\* ЭИК — эффузивно-интрузивный комплекс.

\*\* ИК — интрузивный комплекс.

При определении потенциально никеленосных провинций перспективными объектами поисков являются сульфидно-никеленосные мафит-мезомафические продукты континентального магматизма, в то время как магматические образования океанической коры и базит-гипербазитовые проявления офиолитового типа континентов (палеоокеанические образования) относятся к бесперспективным. На уровне рудоносной зоны сульфидоносные мафит-мезомафические образования подразделяются на эффузивно-интрузивные и чисто интрузив-

ные комплексы, из которых к разряду бесперспективных относятся бессульфидные разности с содержанием  $MgO$  2—8 %, а к перспективным рудоносные мезомафические разновидности; площади их проявления соответствуют рудным районам.

На уровне рудного поля рудоносные мезомафические образования эффузивно-интрузивных и интрузивных комплексов представлены вытянутыми магматическими телами эшелонированного строения и крупными стратифицированными массивами, из которых к перспективным относятся только магнезиальные интервалы эшелонированных колонн и средние и нижние горизонты стратифицированных массивов, составляющие медно-никелевые месторождения, в то время как лейко- и меланократовые бедные сульфидами составляющие рудоносных магматических образований относятся к разряду бесперспективных.

В зависимости от тектонической обстановки рудоносные интервалы (месторождения) могут составлять часть непрерывных колонн, либо, в случае интенсивных тектонических преобразований, расчлененные (изолированные) части колонн. В интрузивных комплексах рудные образования могут быть представлены глубокозалегающими или обнаженными и приближенными к поверхности горизонтами. Рудные тела таких образований составляют придонные и нижние части рудоносных массивов и горизонтов, тогда как слаборудоносные верхние их части являются бесперспективными.

## Глава IV

### ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНОПОРФИРОВОГО ТИПА

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕДНОПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

#### Типы провинций и зон меднопорфирового оруденения

**Рудоносные геологические формации.** Месторождения меднопорфирового типа приурочены к специфическим геоструктурам — вулканоплутоническим поясам, которые известны во всех геосинклинально-складчатых системах фанерозоя. По ведущему профилю магматизма, определяемому палеотектонической позицией, вулканоплутонические пояса отчетливо подразделяются на андезитоидные, вмещающие большинство промышленных месторождений, и базальтоидные, в которых пока обнаружено ограниченное число объектов.

Палеотектоническая позиция андезитоидных вулканоплутонических поясов и их положение в тектоно-магматических циклах продолжают оставаться предметом дискуссии, определяемой главным образом различиями в интерпретационных подходах разных исследователей. Наиболее полно соотношения вулканоплутонических поясов с другими элементами геосинклинально-складчатых систем рассмотре-

ны в работе [21]. Согласно авторам этой работы, андезитоидные вулканоплутонические пояса входят в окраинно-континентальные и внутриконтинентальные геосинклинально-складчатые системы.

В окраинно-континентальных системах восточноазиатского типа, отделенных от океанических геоструктур желобами, устанавливается следующий латеральный ряд элементов: эвгеосинклинали, достигающие островодужных стадий развития — срединный массив (может и отсутствовать) — тыловой прогиб — краевой вулканоплутонический пояс — внешние (континентальные) прогибы. В системах андийского (южноамериканского) типа вулканоплутонические пояса располагаются непосредственно за островодужными геоструктурами (иногда отделяются от них вторичными геосинклиналями) и сменяются (в сторону континента) тыловыми прогибами с миеосинклинальным режимом.

Во внутриконтинентальных системах вулканоплутонические пояса также обнаруживают сопряженность с геосинклинальными прогибами как первичными, так и вторичными при симметричном либо асимметричном расположении относительно них. Обычно по периферии геосинклинального рва на завершающих стадиях его развития располагаются вторичные геосинклинали, которые предшествуют формированию вулканоплутонических поясов. Последние еще больше удалены от первично геосинклинальных прогибов и граничат с континентальными участками по серии прогибов с терригенным осадконакоплением. Согласно разработкам Г. М. Власова, вулканоплутонические пояса и эвгеосинклинали не только сопряжены в пространстве, но и связаны общностью причин возникновения — проявлениями магматических процессов подкорового происхождения, имеющими различное выражение в двух названных обстановках. Обоснованная В. И. Смирновым миграция геосинклинального режима по латерали выражается в появлении латерально-временных рядов однотипных элементов геосинклинально-складчатых систем, в том числе и вулканоплутонических поясов. Последние вместе с собственно геосинклинальными прогибами могут образовывать группы разновозрастных парных геоструктур. Во всех обстановках вулканоплутонические пояса формируются на коре континентального типа в результате разного состава и времени консолидации.

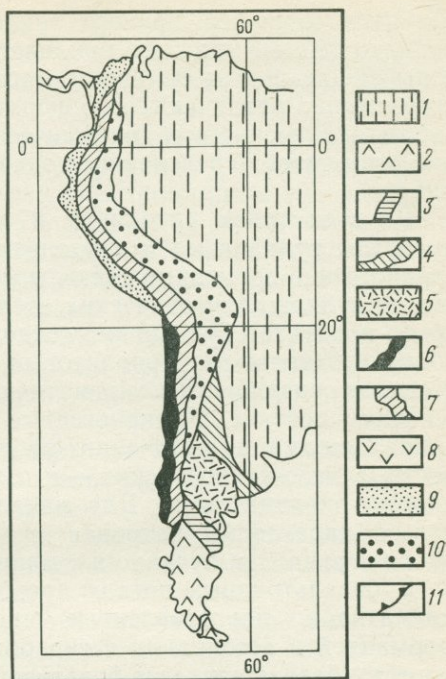
По времени заложения они близки к средним стадиям развития сопряженных эвгеосинклиналей и характеризуются орогенно-активизационным режимом развития.

Принципиально иную позицию занимают базальтоидные вулканоплутонические пояса. Они входят в состав эвгеосинклиналей и образуют барьерные зоны островодужных геоструктур, заложенные на базитовом основании. Эти зоны закономерно располагаются между фронтальными прогибами, примыкающими к желобам, и внутренними либо тыльными зонами эвгеосинклинального пространства. По времени формирования такие пояса отвечают позднегеосинклинальным стадиям развития.

В окраинно-континентальных геосинклинально-складчатых системах андезитоидные и базальтоидные пояса при различиях во времени

Рис. 12. Схема палеотектонического и металлогенического районирования запада Южно-Американского континента. По Х. Ойарзуну и Х. Фрутосу

1 — платформенные комплексы; 2—5 — палеозойские комплексы и палеотектонические единицы (2 — эвгеосинклинальный комплекс, 3 — островодужный (базальтоидный) вулканоплутонический пояс с золото-меднопорфировыми месторождениями, 4 — андезитоидный пояс с молибден-меднопорфировыми месторождениями, 5 — окранный прогиб с колчеданно-полиметаллическими месторождениями); 6—10 — мезо-кайнозойские (андийские) комплексы и палеотектонические единицы (6 — юрско-меловой базальтоидный пояс с золото-меднопорфировыми месторождениями, 7 — мел-третичный андезитоидный пояс с молибден-меднопорфировыми месторождениями, 8 — третичный эвгеосинклинальный комплекс, 9 — третичная миогеосинклиналь, 10 — третичный тыльный прогиб); 11 — приплатформенная граница тыльного прогиба



формирования располагаются на удалении друг от друга в виде пар с субпараллельной ориентировкой осей.

Различия в палеотектонической позиции вулканоплутонических поясов, имеющие следствием петрологическую и металлогеническую специализацию, позволяют выделить два главных типа провинций меднопорфирового оруденения, эквивалентных андезитоидным и базальтоидным вулканоплутоническим поясам (рис. 12).

В пределах андезитоидных вулканоплутонических поясов в зависимости от состава субстрата выделяются три типа зон: эпикратонные, эпимиогеосинклинальные и эпизэвгеосинклинальные. Зоны первого типа отвечают тем частям поясов, которые сформированы на краевых и срединных массивах, флангах кратонов и их склонах. Вторым типом зон эквивалентны частям поясов, развившимся на миогеосинклинальных комплексах, которые характеризуют обстановку локальных перикратонных прогибов или крупных относительно самостоятельных миогеосинклиналей. Зоны третьего типа — участки поясов, сформированные на эвгеосинклинальном субстрате, который может перекрываться миогеосинклинальными образованиями.

Базальтоидные вулканоплутонические пояса на всем протяжении обычно обладают довольно однородным строением. Рудоносные части таких поясов выделяются в качестве эвгеосинклинальных или островодужных зон развития меднопорфирового оруденения.

Таким образом, по палеотектоническим признакам, получающим отражение в петрологических и металлогенических характеристиках, в двух названных типах провинций устанавливаются четыре типа зон

развития меднопорфирового оруденения: эпикратонные, эпимногеосинклинальные, эпизвгеосинклинальные и эвгеосинклинальные. Эти зоны эквивалентны по своим масштабам металлогеническим зонам, существенно различаются по формационным характеристикам, масштабам рудоносности и геохимическим показателям руд месторождений, что имеет определяющее значение для прогнозных и поисковых работ.

Во всех типах провинций и зон меднопорфирового оруденения продукты вулканизма и плутонизма обнаруживают устойчивые пространственно-временные связи, отражающиеся в постоянно повторяющихся вулканоплутонических ассоциациях. В андезитоидных поясах среди продуктов вулканизма господствуют андезитоидные, игнимбритовые и базальт-трахириолитовые формации, сменяющие друг друга и сопровождающиеся комагматичными плутоногенными формациями близкого состава. Вулканогенные формации палеозойских поясов принадлежат к андезит-дацит-риолитовой группе нормальной щелочности, а мезо-кайнозойских — к известково-щелочным андезитовым и андезит-риодацитовым. Для начальных и средних стадий развития поясов характерны натровая андезит-гранодиоритовая и калиевая риолит-гранитная вулканоплутонические ассоциации.

В базальтоидных поясах преобладают продукты натровой серии магматизма, представленные недифференцированной базальтовой формацией в ассоциации с гипербазитами и базитами, которые сменяются (базальт-андезит-базальтовой («порфировой») формацией в ассоциации с габбро-диоритовой плутоногенной формацией.

Меднопорфировое оруденение находится в тесной связи с определенными составляющими плутоногенных формаций, петрологические и петрохимические характеристики которых находятся в отчетливо выраженной зависимости от типа зон и районов.

В зонах и районах эпикратонного типа интрузивные породы рудоносных формаций принадлежат гомодромному ряду: диорит-гранодиорит-гранит. В начальных и средних составляющих этого ряда отчетливо выражена повышенная роль калия, вследствие чего породы, диагностируемые как диориты, на классификационных диаграммах могут располагаться в поле монцодиоритов, а гранодиориты — в поле калиевых разностей.

Интрузивные образования рудоносных формаций в зонах и районах эпимногеосинклинального типа представлены гомодромным рядом: диорит—монцодиорит—монцонит—кварцевый монцонит, составляющие которого обладают отчетливо выраженным натрово-калиевым профилем.

В зонах и районах эпизвгеосинклинального типа рудоносные формации обычно представлены рядом: диорит—гранодиорит—кварцевый гранодиорит с ведущей ролью калиево-натриевых и натриевых разностей.

В зонах и районах эвгеосинклинального (островодужного) типа рудоносные плутоногенные формации имеют ярко выраженную натриевую специализацию при принадлежности пород к ряду: габбро—диорит—кварцевый диорит—тоналит. В некоторых районах породы, завершающие такие ряды, диагностируются как плагиограниты.

Различия в составах вулкано-плутонических ассоциаций и входящих в них плутогенных формаций, определяемые типом зон и районов, наиболее контрастно выражаются в концентрациях и соотношениях калия и натрия.

В андезитоидных поясах вулкано-плутонические ассоциации выделяются как пары параллельных вулканогенных и интрузивных рядов. Три пары таких рядов эквивалентны трем типам зон и районов. При общем росте отношения калия к натрию от эпизевгеосинклинальных районов через эпимиегеосинклинальные к эпикратонным интрузивные породы оказываются обогащенными калием относительно вулканогенных образований. В то же время в андезитоидных поясах отчетливо обособливаются вулканогенные формации натриевой, калиево-натриевой и натриево-калиевой групп, которые соответственно сочетаются с гранодиоритовыми, монцонитовыми и гранитовыми плутогенными формациями.

Вулкано-плутонические ассоциации эвгеосинклинальных зон и районов образованы натриевыми базальт-андезит-базальтовыми вулканогенными и габбро-диорит-кварцевыми диорит-тоналитовыми (с более редкими плагиогранитами) плутогенными формациями. Эти вулканы и плутоны образуют единый ряд с минимальными значениями отношения калия к натрию.

Выделенные выше рудоносные плутогенные формации отчетливо разделяются на классификационной диаграмме, где они располагаются в виде четырех различных рядов (рис. 13): гранодиорит-гра-

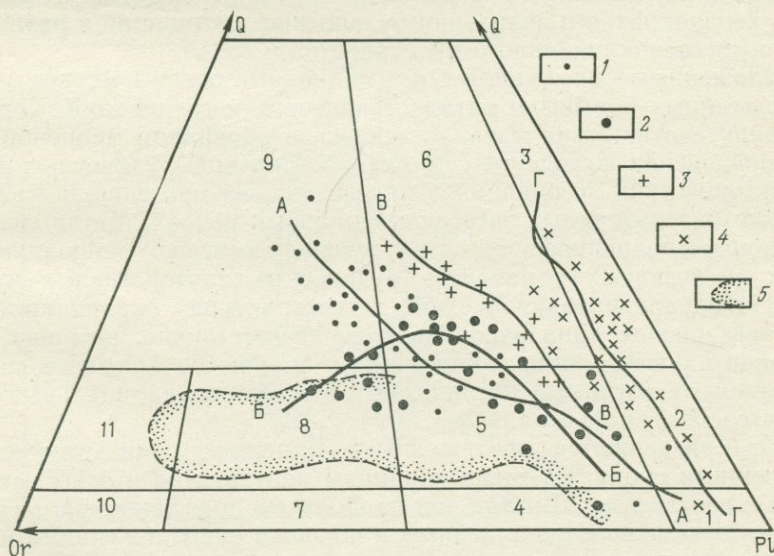


Рис. 13. Составы пород рудоносных плутогенных формаций из районов разного типа. По А. И. Кривцову и С. Т. Агеевой

Тип формации: 1 — эпикратонный (А-А); 2 — эпимиегеосинклинальный (Б-Б); 3 — эпизевгеосинклинальный (В-В); 4 — эвгеосинклинальный (базальтоидные пояса) (Г-Г); 5 — поле составов пород штока Бингхем (по С. Кезлеру). Цифры на рисунке — поля типовых составов: 1 — габбро, 2 — кварцевые диориты, 3 — тоналиты, плагиограниты, 4 — монцодиориты, 5 — кварцевые монцодиориты, 6 — гранодиориты, 7 — монцониты, 8 — кварцевые монцониты, 9 — граниты, 10 — сиениты, 11 — кварцевые сиениты. Буквами обозначены тренды составов

нитного (эпикратонные зоны), диорит-монцодиорит-монцонитового (эпимиогесинклинальные зоны), диорит-гранодиоритового (эпизвгесинклинальные зоны) и диорит-тоналитового (эвгесинклинальные зоны). Такие ряды характерны для широкого круга разновозрастных провинций, в том числе и для провинций Северо-Американского континента, что показывает однотипность эволюции продуктивного магматизма как в глобальном, так и в региональных масштабах.

Для прогноза и поисков меднопорфировых месторождений существенное значение имеет установление положения рудоносных формаций среди комплексов, образующих вулканоплутонические пояса.

В андезитоидных поясах вулканогенные формации, предшествующие рудоносным плутоногенным формациям, могут налегать на породы субстрата непосредственно или через молассоидные образования. В некоторых провинциях рудоносным вулканоплутоническим ассоциациям предшествуют вторичногесинклинальные непрерывные вулканогенные формации и завершающие их интрузии габбро-плагио-гранитной формации. Продуктивные ассоциации, как правило, перекрываются игнимбритовыми и более поздними трахитоидными и трахитовыми вулканогенными формациями, сопровождающимися субщелочными, щелочными и аляскитовыми интрузивными комплексами.

В базальтоидных поясах рудоносные вулканоплутонические ассоциации появляются после недифференцированной, контрастной и непрерывной вулканогенных формаций эвгесинклиналей и предшествуют накоплению вулканогенных молассоидов. Латеральная миграция эвгесинклинального режима во времени определяет возможность неоднократного появления рудоносных ассоциаций в разных частях ортогесинклинального пространства.

Изложенным определяются формационные основы мелко- и среднемасштабных прогнозно-металлогенических исследований. Согласно принципу соответствия металлогенические провинции меднопорфирового оруденения выделяются по распространению рудоносных вулканоплутонических ассоциаций в андезитоидных орогенно-активизационных и базальтоидных эвгесинклинальных поясах. Металлогенические зоны с меднопорфировым оруденением отвечают площадям развития интрузивных комплексов рудоносных плутоногенных формаций. По идеализированной схеме в геоструктурах окраин континентов зоны разного типа располагаются асимметрично: внешние (приконтинентальные) эпикратонные зоны сменяются эпимиогесинклинальными, за которыми располагаются эпизвгесинклинальные и далее эвгесинклинальные зоны.

Зоны разделяются протяженными линеamentными структурами, следующими субпараллельно окраинам континентов и осям островодужных геоструктур. Внутри зон продольные долгоживущие разломы фиксируются цепочечно-линейным и поясным расположениями интрузивных массивов или их групп.

Рудные районы с меднопорфировыми месторождениями оконтуриваются как площади одиночных плутонов либо тесно сближенных групп плутонов. Как те, так и другие контролируются узлами пересечения поперечных и диагональных разломов с протяженными продольными. Более отчетливо проявлен контроль рудных районов по-

ложительными структурами древнего заложения, характеризующимися устойчивостью режима и располагающимися как в центральных частях зон, так и на их флангах. В целом, размещение рудных районов в пределах зон отражает поперечно-блоковое строение последних, обусловленное чередованием устойчивых поднятий и отрицательных структур, которые граничат по долгоживущим разломам, секущим простирание зон.

**Меднопорфировые магматогенно-рудные системы.** Сопоставление данных по ряду южноамериканских меднопорфировых месторождений, обладающих разным уровнем эродированности, позволило Р. Силлиту выдвинуть положение о принадлежности штоков порфировых пород, несущих рудную минерализацию, к средним и нижним частям весьма значительных по размаху магматогенно-рудных систем. Это положение получило дальнейшее развитие в работах Г. М. Власова [21], А. И. Кривцова [11], И. Г. Павловой [24] и широко используется рядом зарубежных исследователей.

Модель меднопорфировой системы в качестве главных элементов включает следующее (рис. 14):

- породы основания (субстрата) вулcano-плутонических поясов;
- формации нижних частей разреза вулcano-плутонических поясов;
- фанеритовые интрузивы главных фаз, размещающиеся в субстрате или в породах нижних частей разреза вулcano-плутонических поясов и занимающие позицию «интрузивов под вулканами»;

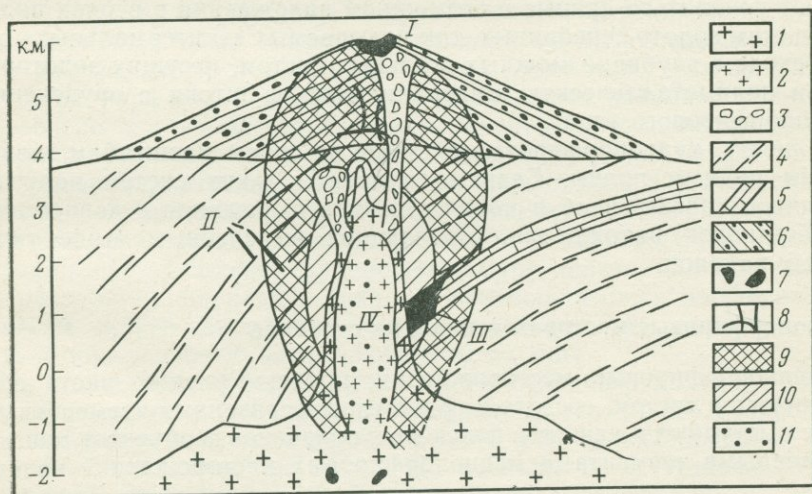


Рис. 14. Модель меднопорфировой системы. По Р. Силлиту.

1 — шток гранодиорит-порфиров с порфировыми медными рудами; 2 — полнокристаллические гранодиориты; 3 — взрывные брекчии; 4 — довулканическое основание; 5 — горизонт известняков; 6 — слои лав и пиропластов (стратовулкан); 7 — пегматитовые тела; 8 — дайки; 9 — пропилитизация; 10 — серицитизация; 11 — калишпатизация. Римскими цифрами обозначены месторождения различных типов: I — самородной серы с пиритом и марказитом; II — жильные свинцово-цинковые и золото-серебряные; III — контактово-метасоматические медные в измененных известняках (скарнах); IV — молибденово-медные порфировые

— порфиновые штоки, прорывающие фанеритовые интрузивы и как бы надстраивающие их по вертикали с выходом на более высокие уровни разреза;

— брекчиевые тела, прорывающие штоки и «продолжающие» их по вертикали;

— стратовулканы, сформированные на ранних стадиях становления рудоносных вулcano-плутонических ассоциаций;

— кратерные и жерловые зоны стратовулканов, обладающие общей осью с брекчиевыми телами и порфировыми штоками.

Рудные элементы таких систем могут быть представлены:

— меднопорфировой минерализацией, которая тесно связана с порфировыми штоками, контролируется их эндо- и экзоконтактными зонами (включая брекчиевые тела) и развивается в зонах гидротермально-метасоматических изменений определенного состава;

— широкими ореолами пиритизации, развитыми в зоне пропицитизации, которая представляет внешнюю зону изменений и может нести полиметаллические жилы;

— скарновыми залежами железных и медно-полиметаллических руд, появляющихся лишь в карбонатных породах интрузивной рамы;

— залежами самородной серы с марказитом и пиритом в кратерных зонах стратовулканов.

Общий вертикальный размах таких систем оценивается в 5—7 км и, естественно, не доступен прямым наблюдениям. Вследствие этого характер выражения верхних частей систем и их металлоносность не могут считаться до конца определенными. В последние годы начинают появляться данные о возможном нахождении в верхах подобных систем золото-серебряных, так называемых «эпитермальных» руд, о переходе с глубиной мощных жильных систем, несущих золоторудную и полиметаллическую минерализацию, в штоки с орудением меднопорфинового типа.

В целом, меднопорфировые системы по своим масштабам эквивалентны рудным полям. Главные элементы таких систем получают различное качественное и количественное выражение в зависимости от обстановок нахождения, отвечающих выделенным выше типам рудных районов.

## **Меднопорфировые месторождения и их строение**

Меднопорфировые месторождения, представляющие часть соответствующих систем, состоят из ряда взаимосвязанных элементов, которые выступают в качестве поисковых признаков и объектов поисков.

Главными элементами меднопорфировых месторождений являются:

1) интрузивная рама; 2) порфировые интрузивы; 3) брекчиевые тела; 4) зоны гидротермально-метасоматических изменений; 5) меднопорфировые рудные тела; 6) ореолы пиритизации; 7) сопряженная рудная минерализация.

Конкретное выражение каждого из перечисленных элементов зависит от обстановок нахождения месторождений — типа рудного рай-

она (эпикратонный, эпимиогеосинклинальный, эпизвгеосинклинальный, звгеосинклинальный).

Рама порфировых интрузивов могут образовывать породы субстрата вулканоплутонических поясов, вулканогенно-осадочные и вулканогенные формации вулканоплутонических ассоциаций нижних частей разрезов поясов. Вместе с тем в подавляющем большинстве случаев (по данным В. С. Попова — из 120 месторождений более 75 %) порфировые тела располагаются среди пород предшествующих интрузивных фаз. Состав рамы влияет на распространенность оруденения за границы порфировых тел, что определяется главным образом физико-химическими и физико-механическими свойствами среды. На ограниченном числе объектов во вмещающих терригенно-карбонатных и карбонатных толщах известны скарновые (либо скарнированные) железорудные, меднорудные и полиметаллические залежи.

Рудоносные порфировые интрузивы, представляющие главный элемент меднопорфировых месторождений, по петрологическим и петрохимическим характеристикам близки или тождественны предшествующим фанеритовым интрузивам рудоносных плутоногенных формаций. Ярко выраженные связи между палеотектоническим режимом развития зон вулканоплутонических поясов и соответствующими рудоносными формациями, с одной стороны, между главными фазами, порфировыми фазами и оруденением, — с другой, позволяют использовать при классификации месторождений принципы, изложенные в предшествующем разделе. По обстановкам нахождения и формационной принадлежности рудоносных интрузивов месторождения, так же как и рудные районы, подразделяются на эпикратонные, эпимиогеосинклинальные, эпизвгеосинклинальные и звгеосинклинальные.

В районах эпикратонного типа среди рудоносных фаз преобладают гранит-порфиры, в эпимиогеосинклинальных районах оруденение приурочено к монцитит-порфирам и кварцевым монцитит-порфирам, в эпизвгеосинклинальных районах рудоносные фазы представлены гранодиорит-порфирами, реже тоналит-порфирами, а в звгеосинклинальных — диоритовыми порфиритами, кварцевыми диоритовыми порфиритами, реже плагиогранит-порфирами. В некоторых случаях при описании месторождений рудоносные интрузивные тела выделяются под названием кварцевых, кварцево-полевошпатовых порфиров, что отражает скорее текстурные особенности пород, чем их принадлежность к определенному петрографическому типу.

На подавляющем большинстве месторождений рудоносные интрузивы имеют форму штоков и штокообразных тел. Менее распространены изолированные тела дайкообразной формы и сближенные мелкие дайки, составляющие пояса. По оценкам В. С. Попова [30], в 85 случаях из 110 оруденение приурочено к обособленным телам. Известны пока отдельные случаи слияния групп штокообразных порфировых тел в единый интрузивный массив на глубине.

Даже те интрузивные тела, которые описываются в качестве штоков, не обладают правильными геометрическими формами. В горизонтальных сечениях такие тела обычно представлены овалами и эллипсами различного удлинения. В. С. Поповым отношение коротких

и длинных осей горизонтальных сечений интрузивов оценивается от 1 : 2 до 1 : 5. На ряде месторождений Чили и Канады это отношение близко 1 : 3.

Штоки и штокообразные тела обычно расширяются с глубиной под углами к горизонту от 45 до 85°. Вместе с тем известны тела, сужающиеся с глубиной при наклонах контактов к вертикальной оси штока под углами 60—80°. На глубокоовскрытых объектах со значительным вертикальным размахом оруденения установлено изменение углов падения контактов интрузивных тел — постепенные переходы от расширяющихся с глубиной частей к сужающимся.

Площади горизонтальных сечений порфировых тел зависят не только от их размеров, но и от глубины расположения эрозионного среза. Минимальные площади характерны для самых верхних частей интрузивов при слабом их вскрытии эрозионным срезом. С глубиной площади сечения интрузивов на уровнях их рудоносных частей обычно постепенно возрастают в соответствии со значениями углов падения контактов, приведенными выше. По оценкам В. С. Попова 48 объектов по площадям горизонтальных сечений интрузивов принадлежат трем классам: 0,1—1,0 км<sup>2</sup> (34 %) — среднее  $0,45 \pm 0,28$  км<sup>2</sup>; 1—10 км<sup>2</sup> (60 %) — среднее  $3,5 \pm 1,9$  км<sup>2</sup>; более 10 км<sup>2</sup> (6 %). Из приведенных средних данных при соотношении осей интрузивов, равном 1 : 3, их площади для отмеченных классов имеют следующие приближенные значения, км: первый класс  $0,4 \times 1,1$ ; второй  $1,1 \times 3,2$ ; третий  $1,8 \times 5,5$ .

Преобладание удлинённых форм порфировых тел в сочетании с их цепочечным расположением обычно рассматриваются как следствие приуроченности таких образований к линейным магмоконтролирующим разломам. Вместе с тем подчиненность интрузивов линейным структурам может сочетаться с их приуроченностью к узлам пересечения с поперечными разломами. В таких узлах располагаются изолированные штокообразные тела либо группы тел, распределенных по ортогональной сети (рис. 15). Изометричные тела, связанные с кольцевыми структурами и сопровождающиеся радиальными, полукольцевыми и кольцевыми дайками и разрывами, характерны для эпикратонных районов, имеющих жесткий субстрат, консолидированный задолго до внедрения интрузивов.

Интрузивные брекчии, обладающие секущими соотношениями с вмещающими породами и обычно имеющие форму трубо-, воронко- и дайкообразных тел, характерны для месторождений андезитовидных вулканоплутонических поясов. Подобные образования как бы надстраивают по вертикали порфировые интрузивы и присутствуют в их верхних частях. Брекчиевые тела обычно рассматриваются как составляющие порфировых интрузивов либо располагающиеся на продолжении их апофиз, либо принадлежащие к смежным фазам магматического процесса.

В зависимости от расположения эрозионного среза выделяются три наиболее типичных случая: 1) эрозией вскрыты брекчиевые тела при расположении интрузивов на глубине; 2) на эрозионной поверхности обнажены средние части брекчиевых тел и апофизы порфировых интрузивов; 3) эрозионный срез отвечает верхним частям

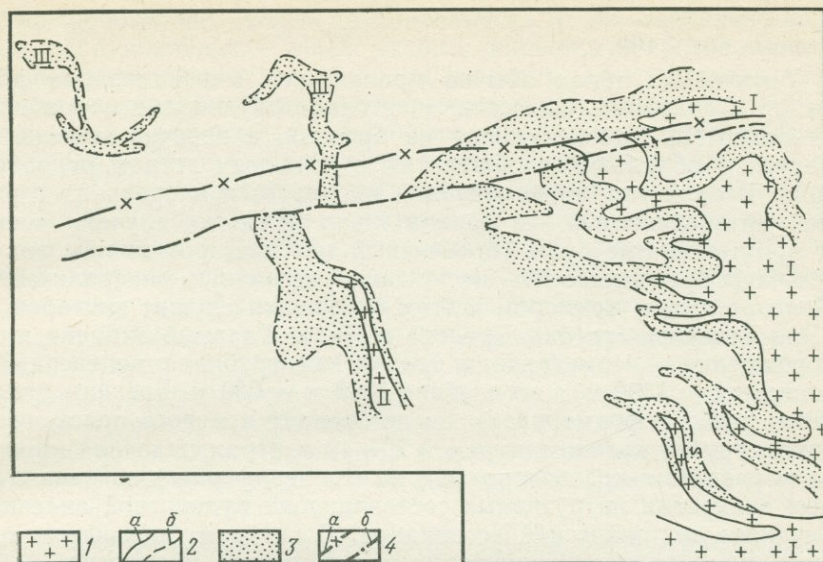


Рис. 15. Морфология интрузивов гранодиорит-порфиров рудного района.

1 — выходы гранодиорит-порфиров; 2 — контуры штоков гранодиорит-порфиров (а — на поверхности, б — на глубине 500 м); 3 — поверхности штоков; 4 — разлом (а — на поверхности, б — на глубине 500 м). I—III — штоки: I — Кальмакыр; II — Балыкты, III — Дальнее

порфировых интрузивов. Брекчии слагают небольшие трубо- и дайкообразные тела, находящиеся в пределах интрузива либо в его эндо- и экзоконтактной зонах.

Крупные брекчиевые тела имеют овальные или эллиптические сечения в плане и по форме близки к опрокинутым конусам с малыми углами схождения образующих. Брекчии состоят из остроугольных и округлых обломков размером от дровы, образующей цемент, до 1 м и крупных глыб с разностями в 5—10 и 20 см. Среди обломков обычно преобладают породы, вмещающие брекчиевые тела, однако могут присутствовать и породы, находящиеся на десятки метров ниже и выше данного уровня. Распределение обломков обычно хаотичное, но в крупных трубообразных телах нередко наблюдается субгоризонтальная «слоистость».

Формирование брекчиевых тел связывается с процессами флюидизации интрузивов и надинтрузивных пород в связи с отделением значительных объемов летучих. При этом допускается возможность сообщения по крайней мере части трубчатых тел с дневной поверхностью. Интенсивность брекчиеобразования особенно высока в районах эпиократонного и эпимиогеосинклиналиного типов. В эвгеосинклиналиных районах значительные брекчиевые тела не описаны.

В случае интенсивного проявления брекчиеобразования могут возникать тела гигантских размеров. Так, на месторождении Рио Бланко-Диспутада (Чили) вертикальный размах брекчиевых тел превышает 700 м, на месторождении Эль Теньенте (Чили) — 1500 м. На ме-

сторожении Жирекен (СССР) площадь выхода брекчиевой трубки составляет  $900 \times 100$  м.

В брекчиевых телах обычно проявляется минерализация двух типов: 1) в обломках, вынесенных из слабо оруденелых пород нижних горизонтов; 2) наложенная на брекчии, в первую очередь, на их цемент и обладающая общностью с основным этапом рудообразования. Второй тип минерализации проявляется в брекчиях с различной интенсивностью — в сравнительно немногих случаях возникают промышленные руды (брекчиевый тип месторождений), значительно чаще брекчиевые тела несут лишь рассеянную минерализацию.

Показательным примером в этом отношении служит месторождение Эль Теньенте (трубка Браден) в Чили. Главный элемент этого месторождения — изометричная брекчиевая трубка с поперечником на поверхности 1300 м, а на глубине 1000 м — 650 м. Брекчии, заполняющие трубку, сформированы после брекчий краевого пояса, окаймляющих трубку кольцом шириной 20—40 м. Промышленная минерализация развита в краевом поясе и на его периферии и связана с периодом внедрения интрузивных составляющих рудоносной андезитовой вулcano-плутонической ассоциации. В главном брекчиевом теле (трубка Браден) наложенная минерализация не проявлена, в ней присутствуют лишь слабо минерализованные обломки интрузивных и вулканогенных пород.

На месторождении Коксай (СССР) в широких полях развития брекчий и секущих телах минерализация характеризуется весьма низкой интенсивностью. Основной объем руд сосредоточен на более низких гипсометрических уровнях — в дайкообразных порфириновых телах и их гранодиоритовой раме.

В целом брекчиевые тела принадлежат к важным составляющим меднопорфириновых систем и месторождений и имеют существенное поисковое значение. Однако в практике поисков меднопорфириновых месторождений необходимо учитывать то обстоятельство, что брекчиевые тела появляются в специфических обстановках и на определенных уровнях меднопорфириновых систем. При значительных глубинах эрозионного среза они отсутствуют или распространены локально среди порфириновых интрузивов, несущих основной объем рудной минерализации.

На месторождениях Коунрад и Кальмакыр (СССР) локальные брекчиевые тела были установлены лишь после длительного периода эксплуатации. В противоположность этому, обширные выходы брекчиевых тел были известны на Коксайском месторождении еще на ранних стадиях поисков, однако промышленная минерализация была выявлена не в полях развития брекчий, а в блоке с более низким расположением эрозионного среза. Эти примеры свидетельствуют о необходимости осторожного подхода при оценке брекчиевых тел как признака меднопорфириновых месторождений.

Продукты гидротермально-метасоматических изменений рудоносных порфириновых интрузивов и пород их рамы характеризуются зональным размещением и принадлежат к ведущим поисковым признакам меднопорфириновых месторождений. Характер выражения метасоматической зональности и особенно состав

зон обнаруживают отчетливую зависимость от геотектонической позиции месторождений — типов рудных районов. Наиболее ярко эта зависимость проявляется в широком развитии метасоматического калиевого шпата и биотита во внутренних зонах месторождений эпикратонных и эпимиогеосинклинальных районов, где рудоносные плутогенные формации обладают калиевым и натриево-калиевым профилями. На месторождениях из районов эпизвгеосинклинального и эвгеосинклинального типов с калиево-натриевым и натриевым профилями рудоносных формаций проявления калишпатизации во внутренних зонах, за редкими исключениями, практически отсутствуют, а биотитизация может развиваться во внешних зонах.

Распределение продуктов гидротермально-метасоматических изменений на меднопорфировых месторождениях подчинено рудоносным интрузивам. Зоны разного состава сменяют друг друга по радиусам-векторам от центров интрузивных тел, а в горизонтальных сечениях ограничиваются вложенными друг в друга эллиптическими кольцами, подобными по форме рудоносным интрузивам даже на значительном удалении от их контактов.

Для месторождений эпикратонных районов типовое распределение зон отвечает ряду: кварцевая — калишпатовая с биотитом — кварцево-серицитовая — аргиллизитовая — пропилитовая\*. Выпадение аргиллизитовой зоны, имеющее место на ряде месторождений, отвечает нижним уровням эрозионного среза, поскольку аргиллизиты выклиниваются с глубиной. Отсутствие кварцевой зоны, составляющей ядро метасоматической зональности, может быть связано с недостаточной глубиной эрозионного среза, хотя обязательность развития подобных зон на всех месторождениях нельзя считать доказанной.

На некоторых объектах имеются отклонения от приведенной типовой зональности. В частности, на месторождениях Клаймакс и Гендерсон (США) между калишпатовой и кварцево-серицитовой зонами располагается зона грейзенизации с топазом и магнетитом.

Для месторождений эпимиогеосинклинальных районов полностью приложима «монцитонитовая» модель рудно-метасоматической зональности, разработанная Д. Ловеллом и Дж. Джилбертом. Внутренние существенно кварцевые зоны по радиусам-векторам сменяются калишпат-биотитовыми (либо биотит-калишпатовыми) зонами. Вслед за ними располагаются серицит-кварцевые зоны, окаймленные зонами аргиллизитов, которые отсутствуют на нижних уровнях месторождений. Периферическую зону образуют пропилитизированные породы.

На месторождениях эпизвгеосинклинальных районов устанавливается два варианта зональности. Первому, наиболее распространенному варианту, отвечает ряд зон: кварцевая — кварцево-серицитовая — пропилитовая с проявлением между двумя последними зонами на некоторых объектах зоны аргиллизации. Второй, более редко встречающийся вариант, отличается появлением биотитовой зоны в

---

\* В зарубежных публикациях калишпатовая и биотитовые зоны выделяются как зоны калиевых изменений, а кварцево-серицитовые как филлизитовые (phyllitic).

эндоконтактах интрузивов между кварцево-серицитовой и пропилютой зонами.

Зональность месторождений эвгеосинклинальных районов близка «диоритовой» модели В. Холлистера, в которой кварцево-серицитовая зона может располагаться между неизменными породами и пропилютами, между биотитовой зоной и пропилютами, между внутренней и экзоконтактовой зонами биотитизации. На некоторых объектах кварцево-серицитовая зона сопровождается внешней оторочкой аргиллизитов. Обобщенные схемы распределения метасоматитов на месторождениях из районов разного типа представлены на рис. 16.

Менее определенное положение в общей метасоматической зональности месторождений занимают такие минералы, как турмалин, ангидрит, гипс и цеолиты.

Турмалин достаточно широко распространен практически во всех обстановках нахождения месторождений, но наиболее характерен для эпимиеосинклинальных районов, где он интенсивно развивается в брекчиевых телах, нередко называемых турмалиновыми брекчиями или турмалиновыми трубками. Кроме того, турмалин вместе с кварцем выполняет жилы на периферии порфировых штоков, слагает гнезда и вкрапленность в их эндоконтактовых зонах. Такие формы проявления турмалинизации известны на объектах ряда эпизеосинклинальных районов. Важно подчеркнуть, что повсеместно турмалин сопровождается халькопиритом и пиритом. Подобные проявления минерализации могут интерпретироваться как самостоятельная медно-турмалиновая формация, хотя они в действительности принадлежат меднопорфировым системам.

В целом известные ситуации развития турмалина позволяют считать, что преимуществовые области его распространения отвечают внешним по латерали и вертикали, включая и надрудные, частям меднопорфировых месторождений.

Ангидрит установлен в калишпатовых и кварцево-серицитовых зонах ряда месторождений, обычно на нижних горизонтах. О его распространенности во внешних зонах (в частности, в пропилютовых) достоверных данных нет. На определенных глубинах ангидрит постоянно ассоциирует с гипсом, который обычно широко развит в верхних частях месторождений. Гипсу обычно приписывается гипергенное происхождение, однако замещение ангидрита гипсом может происходить и в период гипогенного рудообразования.

Цеолиты описаны пока на немногих месторождениях, что не исключает более широкой, чем считается, их распространенности. Эти минералы установлены на верхних горизонтах месторождений, но на некоторых объектах встречены на глубине первых сотен метров.

Важным элементом меднопорфировых месторождений являются пиритовые ореолы, которые располагаются за внешними ограничениями рудных тел и широко распространяются в зоны пропилютизации вплоть до их наружных границ. Хорошо выраженные пиритовые ореолы мало характерны для месторождений эпикратонных районов. Во всех остальных обстановках пиритовые оболочки рудных тел устанавливаются с удивительным постоянством.

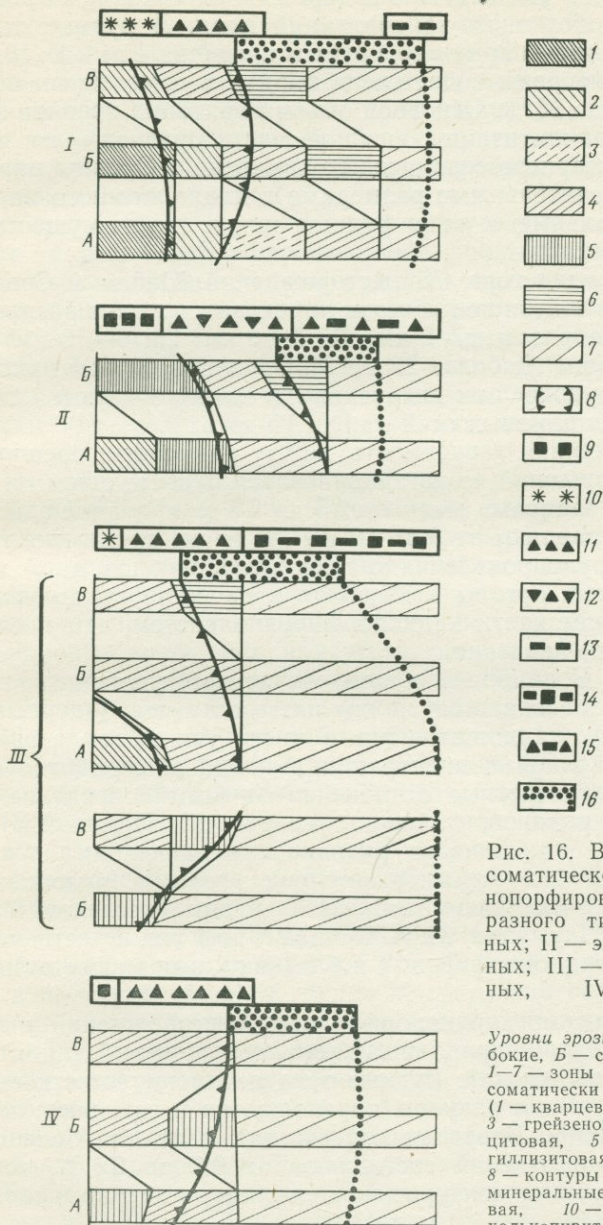


Рис. 16. Варианты рудометасоматической зональности меднопорфировых месторождений разного типа (I — эпикратонных; II — эпимногеосинклинальных; III — эпизэвгеосинклинальных, IV — эвгеосинклинальных).

Уровни эрозийного среза: А — глубокие, Б — средние, В — умеренные. 1—7 — зоны гидротермально метасоматически измененных пород (1 — кварцевая, 2 — калишатовая, 3 — грейзеновая, 4 — кварцево-серпичитовая, 5 — биотитовая, 6 — аргиллизитовая, 7 — пропилитовая); 8 — контуры рудных тел; 9—16 — минеральные зоны (9 — магнетитовая, 10 — молибденитовая, 11 — халькопиритовая, 12 — молибденит-халькопиритовая, борнитовая, 13 — галенит-сфалеритовая, 14 — магнетит-галенит-сфалеритовая, 15 — халькопирит-галенит-сфалеритовая с золотом и серебром, 16 — пиритовая)

Внешние границы пиритовых ореолов определяются в достаточной степени условно по уменьшению содержаний халькопирита, определяющих значение бортовых концентраций меди. В рудных телах отношение халькопирит—пирит варьирует в пределах 1 : 1—1 : 10. За промышленными контурами содержание пирита в измененных породах составляет от 3 до 10 %. Основной объем пиритовых ореолов приходится на зону пропилитизации, внешние части ореолов — на зоны аргиллизации или кварцево-серицитовых изменений. Ореолы пирита обладают весьма значительными размерами в плане, намного превышающими горизонтальные сечения рудных тел, и имеют существенное значение для поисков.

По данным В. Холлистера, 75 месторождений Южно- и Северо-Американского континентов по площади пиритовых ореолов распределяются следующим образом: до 2 км<sup>2</sup> 15; 2—6 км<sup>2</sup> 26; 6—10 км<sup>2</sup> 14; 10—15 км<sup>2</sup> 8; 15—25 км<sup>2</sup> 9; более 25 км<sup>2</sup> 3. Ореолы в первом приближении конформны рудоносным интрузивам и характеризуются соотношением коротких и длинных осей от 1 : 1,25 до 1 : 2.

Отчетливо выраженная зависимость между размерами ореолов и масштабами месторождений не устанавливается. Вместе с тем на некоторых объектах с запасами меди от 2,5 до 5,5 млн. т площади пиритовых ореолов составляют от 5 до 10 км<sup>2</sup>. В то же время известны мелкие объекты и рудопроявления с площадью ореолов до 5 км<sup>2</sup>.

В целом пиритовые ореолы выступают в качестве продолжений рудных тел во внешние части меднопорфировых систем, чем и определяется их поисковое значение.

Рудные тела. В наиболее общем случае промышленно значимая минерализация развивается между центральными (ядерными) кварцевыми, кварцево-калишпатовыми и внешними пропилитовыми зонами при максимальной концентрации в кварцево-серицитовой и аргиллизитовой зонах. Частные отклонения от этого, определяемые спецификой рудных районов, отражены на рис. 16. Независимо от характера и рисунка зональности рудная минерализация обычно контролируется интрузив—надинтрузивными зонами рудоносных магматических тел, что рассматривается рядом исследователей (Г. Н. Щерба, Т. М. Лаумулин, М. А. Осипов и др.) как естественный результат развития меднопорфировых и близких к ним магматогенно-рудных систем.

Рудная минерализация меднопорфировых месторождений имеет прожилковый, прожилково-вкрапленный характер, обычный для штокверкового типа месторождений. Рудные тела не имеют естественных ограничений — их форма и размеры определяются в зависимости от существующих кондиций. Бортовые содержания меди для большинства известных месторождений составляют от 0,2 до 0,4 %, тогда как внутри промышленных контуров концентрации этого компонента редко превышают 0,8 %.

Зависимость форм рудных тел меднопорфировых месторождений от величин бортовых содержаний меди проанализирована А. И. Кривцовым, И. Ф. Мигачевым и В. Б. Шишаковым на примере ряда месторождений. Этот анализ показал, во-первых, что распределение содержаний как меди, так и молибдена подчинено тенденции посте-

пленного снижения от центральных частей штокверков к их внутренним и внешним ограничениям при отсутствии резко выраженных «пиковых» перепадов концентраций. Во-вторых, построение изоконцентрат меди и молибдена по ряду объектов позволило установить, что независимо от различий в абсолютных значениях принятых бортовых содержаний изоконцентраты, проходящие вблизи ограничений рудных тел как внутри, так и вне их, проходят параллельно промышленному контуру. В частности, при бортовом содержании меди 0,2 % изоконцентраты 0,1 и 0,3 % проходят субпараллельно, очерчивая подобные фигуры различных размеров. Такие же данные были получены по молибденпорфировым месторождениям. В целом в области ограничений промышленных руд изоконцентраты меди и молибдена, объединяющие точки пространства с равной интенсивностью минерализации, очерчивают подобные друг другу тела разных размеров. Таким образом, хотя рудные тела меднопорфировых месторождений и не имеют визуально устанавливаемых границ, они реально существуют как геологические образования, опознаваемые не геологическими методами.

Из общих принципов типизации рудных тел, разработанных В. М. Крейтером и В. И. Смирновым, следует, что наиболее объективным направлением систематизации форм рудных тел является такое, которое учитывает главные и общие для всех месторождений контролирующие (определяющие) факторы. Для меднопорфировых месторождений к такого рода факторам следует относить рудоносные порфировые интрузивы, присутствующие практически на всех достаточно глубоко вскрытых объектах и определяющие не только положение рудной минерализации, но и геометрию оруденелой геологической среды. На этих принципах базируется морфологическая классификация меднопорфировых месторождений, разработанная А. И. Кривцовым, И. Ф. Мигачевым и В. Б. Шишаковым [11].

При анализе положения рудных тел относительно порфировых интрузивов и сопоставлении тех и других форм месторождения достаточно отчетливо разделяются на две группы. В первую из них входят объекты, рудные тела которых обладают формами и ограничивающими поверхностями, повторяющимися с сохранением подобия формы порфировых интрузивов при близкой ориентировке тех и других в пространстве. Эта группа *конформных рудных тел* противопоставляется месторождениям, в которых, несмотря на пространственную приуроченность оруденения к порфировым штокам, ограничивающие поверхности промышленных рудных штокверков не только не повторяют форму рудоносных интрузивов, а пересекают их с проникновением глубоко во внутренние части, обладая, таким образом, отчетливо выраженной *дисконформностью*.

Классификация рудных тел меднопорфировых месторождений приведена в табл. 4. Для выделенных в ней морфологических типов и подтипов на материалах конкретных месторождений проведена геометризация форм рудных тел (рис. 17).

Группа конформных месторождений отчетливо разделяется на три типа. В качестве первого из них рассматриваются рудные тела, приуроченные к изометричным в плане штокообразным интрузивам. Раз-

Формы рудоносных меднопорфировых штоков и рудных тел

Таблица 4

Морфологические типы и подтипы	Формы рудоносных штоков	Идеальные поверхности, ограничивающие рудные тела	Формы рудных тел при различном положении эрозионного среза	Формы рудных тел в горизонтальных сечениях на различных уровнях	Примеры месторождений (страна)
I	Изометричные в плане или слабоудлиненные порфировые штоки:				
IA	с малыми и средними углами падения контактов	Разновысокие параболоиды вращения		Круг, кольцо, сближенные сегменты, серповидные фигуры	Клаймакс, Гендерсон, Квеста (США)
IB	с большими углами падения контактов	Разновысокие вертикальные параболоиды вращения (высота внешнего больше высоты внутреннего)	Разновысокие вложенные друг в друга параболоиды вращения, конус, усеченный конус		
IV	субвертикальные	Цилиндрические поверхности различного диаметра	Цилиндр, полый толстостенный цилиндр		Бингхэм (США), Ок-Тэди (Папуа Новая Гвинея), Мамут (Малайзия), Юрэд (США), Ак-Суг, Кальмакыр (СССР), Кызыл-Каин (СССР)
IG	сужающиеся с глубиной	Опрокинутые конусы	Опрокинутый усеченный толстостенный конус		
II	Удлиненные в плане порфировые интрузивы с большими углами падения контактов	Разновысокие эллиптические параболоиды	Разновысокие вложенные друг в друга эллиптические параболоиды, конус, усеченный конус	Эллипс, овал, вытянутое кольцо, группы утолщенных дуг	Дальнее, Агарак (СССР)
III	Наклонные порфировые интрузивы, расщепляющиеся по восстанию на дайкообразные апофизы	Субпараллельные и сходящиеся под небольшими углами в горизонтальном и вертикальном направлениях плоскости	Пластины, клинья с ветвлением на мелкие апофизы	Вытянутый прямоугольник с зубчатыми ограничениями по простиранию, группа сближенных субпараллельных полос	Коксай, Салаватское (СССР), Эндако (Канада), Цаган-Субурга (МНР)
IV	Изометричные, удлиненные или неправильные	Комбинация цилиндрических и конических поверхностей, ограничивающих сплошные (без внутренних полостей) тела	Опрокинутые наклонные конусы и воронки; группы слившихся оснований опрокинутых прямых и наклонных конусов и воронок	Круг, овал, эллипс, группы сближенных кругов и овалов	Серро-Колорадо (Панама), Елашите (НРБ), Эрдентуин-Обо (МНР), Куахоне (Перу), Сар-Чешме (Иран)

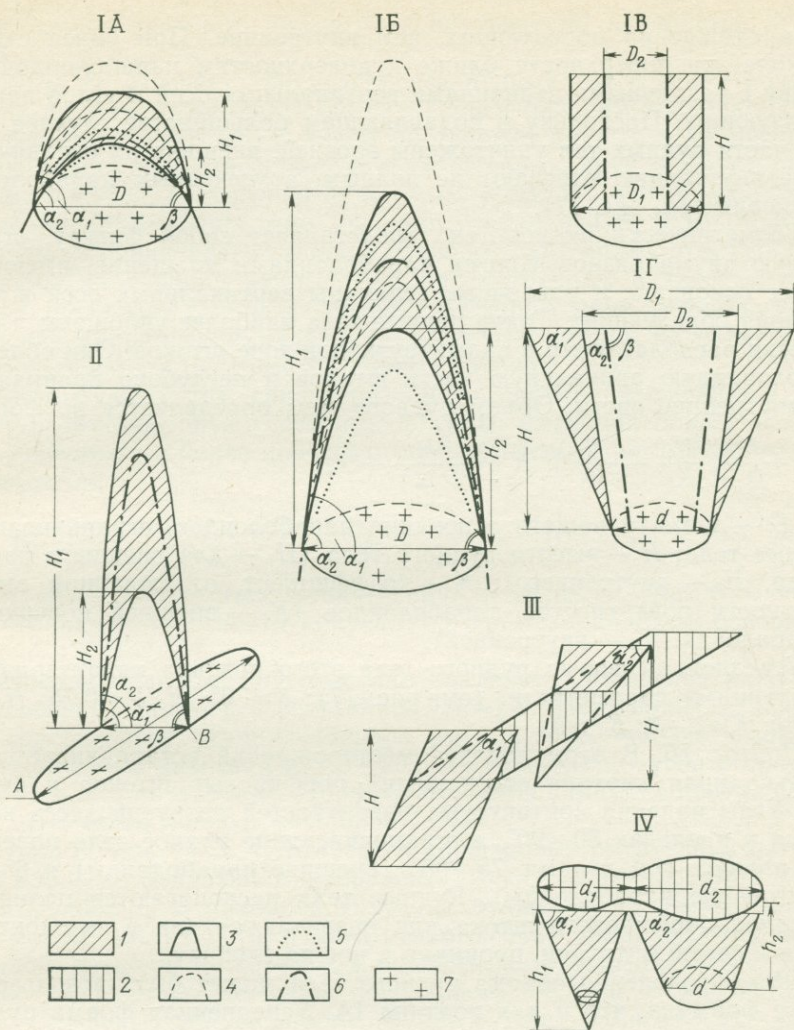


Рис. 17. Формы рудных тел меднопорфировых месторождений.

1—2 — сечения (1 — вертикальные, 2 — горизонтальные); 3—5 — контуры (3 — усредненный, 4 — максимального размера оруденения, 5 — то же, минимального); 6 — усредненный внешний контур порфирового штока; 7 — порфировые породы;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — углы наклона соответственно внешней и внутренней поверхностей, ограничивающих рудные тела;  $\beta$  — углы наклона контактовых поверхностей рудоносных порфировых интрузивов (римскими цифрами и прописными буквами обозначены типы и подтипы, см. табл. 4)

деление этого типа на подтипы базируется на величинах и направлениях углов наклона поверхностей интрузивов.

Подтипу IA отвечает изометричный в плане интрузив, расширяющийся с глубиной под средними углами и обладающий в целом конусовидной либо близкой к таковой формой. Рудные тела, приуроченные к штокам, заключены между двумя конусовидными поверхностями, внешние из которых обладают меньшими уг-

лами схождения образующих, чем внутренние. При более строгом подходе эти поверхности ближе к поверхностям параболоидов вращения с различными величинами вертикальных осей и углов наклона образующих. Поскольку в подавляющем большинстве случаев верхние части рудных тел уничтожены эрозией, внешние их ограничения, реже внутренние, отвечают не полным, а усеченным параболоидам вращения (см. рис. 17).

Геометрическая рудное тело представляет собой фигуру, ограниченную двумя разновысокими параболоидами вращения, имеющими общее основание и различные величины вертикальных осей и углов наклона образующих. Такие рудные тела наиболее уплощены и практически располагаются в надинтрузивной зоне штоков. Они облекают куполовидную апикальную часть штоков и неглубоко проникают в их внутренние части. Объем рудного тела определяется по формуле

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \left( \frac{H_1}{K_1} - \frac{H_2}{K_2} \right); K = \frac{4H}{D \operatorname{tg} \alpha} + 1,$$

где  $D$  — диаметр общего основания параболоидов, ограничивающих рудные тела;  $H$  — высота рудного тела ( $H_1$  — для внешнего параболоида,  $H_2$  — внутреннего);  $K$  — коэффициент, отражающий степень сложности поверхностей параболоидов ( $K_1$  — внешней поверхности параболоида,  $K_2$  — внутренней).

Усредненная форма рудного тела этого подтипа характеризуется следующими параметрами (см. рис. 17):  $\beta = 70^\circ$ ;  $H_1/D = 0,75$ ;  $H_2/D = 0,45$ ;  $K = 2 \div 3$ ;  $K_1 > K_2$ .

*Подтип IB.* В этом подтипе месторождений устанавливается несколько иная картина соотношений порфировых штоков и рудных тел. Углы падения контактовых поверхностей интрузий здесь колеблются в пределах  $80-90^\circ$ , а ограничивающие рудное тело поверхности падают под углами  $75-85^\circ$  (внешние параболоиды) и  $65-75^\circ$  (внутренние параболоиды). Рудные тела располагаются целиком в пределах порфирового штока или развиваются как в экзоконтакте, так и в самой интрузии, проникая в нее на глубину.

Для определения объема рудного тела может быть использована та же формула, что и для подтипа IA. Усредненная форма рудного тела характеризуется следующими параметрами:  $\alpha_1 = 85^\circ$ ;  $\alpha_2 = 75^\circ$ ;  $\beta = 75^\circ$ ;  $H_1/D = 2,1$ ;  $H_2/D = 1,3$ ;  $K = 2-5$ .

*Подтип IB* отвечает варианту глубоко эродированных тел подтипа IB. Можно допустить, что приближение углов падения контактов порфировых штоков к вертикали при глубоком расположении эрозионного среза обеспечивает появление толстостенных тел цилиндрической формы, характерных для данного подтипа. В горизонтальных сечениях подобные тела представлены сплошными или прерывистыми кольцами с изменчивыми отношениями величин внутреннего и внешнего диаметров.

Объем рудных тел этого подтипа равен разности объемов внешнего и внутреннего цилиндров

$$V = \frac{\pi H}{4} (D_1^2 - D_2^2).$$

Отношение внешнего диаметра к внутреннему колеблется от 1,4 до 2,6.

*Подтип 1Г* отвечает приуроченности рудных тел к изометричным в плане штокам, сужающимся с глубиной и близким к опрокинутым или усеченным конусам. В такой обстановке рудные тела располагаются между поверхностями двух вложенных друг в друга опрокинутых конусов, внутренний из которых обладает меньшими углами схождения образующих, чем внешний, обладающий более пологим наклоном по сравнению со штоком. Этот вариант может отвечать продолжению на глубину рудных тел, рассмотренных в качестве подтипа 1В, поскольку в типовых моделях месторождений предполагается изменение направлений падения рудоносных штоков от центров на верхних уровнях к центрам на нижних уровнях.

Объем рудных тел характеризуемого подтипа вычисляется как разность объемов двух усеченных конусов, имеющих общее основание, — внешнего с более пологими образующими и внутреннего с более крутыми:

$$V = \frac{\pi H}{12} [(D_1^2 + D_1 d + d^2) - (D_2^2 + D_2 d + d^2)],$$

где  $D_1$ ,  $D_2$  — соответственно внутренний и внешний диаметры верхнего основания усеченного конуса;  $d$  — диаметр нижнего основания (см. рис. 17, 1Г).

Основание конусов круговое или овальное. Отношение внешнего и внутреннего диаметров составляет 1,4—1,8. Углы падения конических поверхностей, ограничивающих рудные тела, меньше углов падения контактов интрузии на 15—20° для внешних конусов и примерно на 5° — для внутренних. Порфиновый шток занимает центральную безрудную часть минерализованной зоны.

*К типу II* (см. табл. 4) относятся порфировые интрузивы, вытянутые в плане и обладающие в горизонтальных сечениях формой удлиненного эллипса. В подобной ситуации рудные тела обычно заключены между поверхностями двух разновысоких эллиптических параболоидов, внешний из которых в подавляющем большинстве случаев срезан плоскостью дневной поверхности. Как и в подтипах 1А и 1Б, степень уплощенности рудных тел зависит от углов наклона контактов интрузива. При значительных углах падения последнего внешние ограничения рудных тел в поперечных сечениях ориентированы более круто (иногда субвертикально) и сопрягаются с поверхностью интрузива на значительной глубине. Такие тела на выходах имеют форму эллипсов и вытянутых колец, а на нижних горизонтах — утолщенных дуг разных радиусов. В принципе в рамках этого типа могут быть выделены те же подтипы, что и в типе I, хотя конкретные объекты пока единичны. В целом рудные тела типа II весьма близки к рудным телам подтипа 1Б, отличаясь от них в первую очередь удлиненной формой рудоносной интрузии и соответственно формой рудных тел, ограниченных эллиптическими параболоидами, а не параболоидами вращения.

Рудные тела, как и в случае 1А и 1Б, представляют собой пространства, заключенные между двумя разновысокими параболоида-

ми. Последние, в отличие от подтипов IA и IB, обладают эллиптическим основанием, а объем рудного тела равен разности объемов внешнего и внутреннего параболоидов:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \left( \frac{H_1}{K_1} - \frac{H_2}{K_2} \right),$$

где  $D^2$  равно произведению осей эллипсоида. Образующие параболы достаточно сложные —  $K$  для внутреннего параболоида колеблется от 2 до 3, а для внешнего от 3 до 4. Отношение высот к диаметру равно 1,8 для внутреннего параболоида и 3—2 — для внешнего, а отношение высот параболоидов наибольшее из всех подобных объектов и равно 3,2. Углы наклона внешнего параболоида близки к углам падения контактовых поверхностей штоков, а у внутреннего параболоида эти углы примерно на  $10^\circ$  меньше. Идеализированная форма рудного тела типа II почти совпадает с таковой подтипа IB, но отличается формой основания.

*К типу III* (см. табл. 4) принадлежат рудные тела, ассоциирующие с порфиоровыми интрузивами, представленные линейными наклонными телами, ветвящимися на серию дайкообразных апофиз по восстанию и простиранию, или сближенными субпараллельными дайками. Рудные тела в первом приближении обладают пластинообразной формой с частым ветвлением на серии сближенных апофиз. Верхние выклинки таких тел могут быть подобны группе сомкнутых разновысоких клиньев с наклонными осями.

Объем рудных тел этого типа, имеющих форму пластин и клиньев, соответственно равен:  $V = A \cdot B \cdot H$  и  $V = (A \cdot B \cdot H)/2$ , где  $A$ ,  $B$  и  $H$  — соответственно длина, ширина и высота минерализованных зон. Для этого типа характерно отношение длины рудного тела к ширине (в плане), варьирующее от 4 : 1 до 5 : 1.

Выделяемые в дисконформную группу рудные тела, эквивалентные типу IV (см. рис. 17), по своему положению и формам существенно отличаются от первой группы. Хотя они и приурочены к порфиоровым интрузивам, прямой зависимости между параметрами последних и геометрией минерализованных зон не устанавливается.

Среди этой группы выделяются следующие формы рудных тел:  
1) опрокинутые прямые и наклонные конусы с круговыми и эллиптическими горизонтальными сечениями;

2) группы сливающихся на верхних уровнях воронок, или прямых и наклонных конусов с круговыми и эллиптическими сечениями на глубоких горизонтах.

Принципиальное отличие от объектов первой группы, кроме их позиции, заключается в отсутствии на дисконформных месторождениях внутренних безрудных полостей, в ограничении рудных тел лишь одной, хотя и сложной поверхностью.

Объем дисконформных рудных тел определяется как сумма объемов конусов или усеченных конусов. Если для рудных тел, представляющих собой опрокинутые конусы, характерны основания, близкие к кругу, то горизонтальные сечения оруденелых зон, состоящих из

ряда конусов и воронок, имеют овальную или эллипсоидную форму с отношением осей от 1,3 до 4.

Углы падения боковых поверхностей составляют 40—75°, а углы схождения образующих 40—60°.

Зависимость между морфологией рудных тел и формой порфировых рудоносных штоков, по-видимому, свидетельствует о структурно-генетической сопряженности и единстве процессов рудообразования с эволюцией системы «интрузив—надэнтрузивная зона». Главной причиной возникновения ореола трещиноватости, вмещающей рудную минерализацию, следует считать деформации, связанные с внедрением и становлением магматических тел. Очевидно, различия между морфологическими типами месторождений определяются глубиной и тектонической обстановкой рудоотложения. Анализ геологического строения ряда месторождений приводит к выводу о том, что большая часть объектов конформной группы образовалась в сравнительно спокойной тектонической обстановке при устойчивом плане деформаций на глубинах более 1,5 км. Месторождения дисконформной группы формировались, по-видимому, в менее глубоких, приповерхностных условиях. В связи с этим система по структурным условиям образования близка к открытой и характеризуется низкими значениями температур и давлений и изменяющимся планом деформаций. Одним из подтверждений этого является широкое развитие на объектах данной группы брекчиевых трубок.

Приведенная классификация и геометризация рудных тел меднопорфировых месторождений имеет существенное значение для поисково-оценочных работ, успех которых во многом зависит от выявления факторов, контролирующих морфологию минерализованных зон. Установление принадлежности оцениваемого объекта к конформной либо дисконформной группе и определение морфологического типа или подтипа способствуют рациональному размещению выработок и дают возможность более оперативно оценивать масштабы оруденения по предложенным формулам. На месторождениях конформной группы внешние и внутренние ограничения рудных тел и изоконцентраты меди повторяют в пространстве очертания порфировых интрузивов, что нужно учитывать при увязке конкретных рудных подсечений. Следует подчеркнуть, что механическая увязка равных концентраций компонентов по скважинам без учета отмеченной закономерности в большинстве случаев оказывается недостоверной. Необходимая информация для определения морфологического типа рудных тел обеспечивается вскрытием скважинами порфировых интрузивов и их слабо- или неминерализованных частей. В идеальном случае морфология рудных тел может быть установлена по данным двух взаимно перпендикулярных профилей скважин, ориентированных по осям порфировых интрузивов.

Более сложно выявить морфологические особенности рудных тел дисконформной группы, где пока трудно найти факторы внешних ограничений. Существенное значение для уверенного определения формы рудных тел имеют данные бурения наклонных скважин, по которым оценивается сплошность оруденения между вертикальными скважинами.

## Состав руд

**Первичные руды.** Основные рудообразующие элементы месторождений меднопорфирового типа — молибден и медь — обладают существенно различными концентрациями в месторождениях, находящихся в разных палеотектонических обстановках. Анализ состава рудоносных плутонов в сочетании с данными о геохимической специализации руд, выраженной через соотношения меди и молибдена, позволяет выделить четыре группы месторождений, отвечающих определенным типам рудных районов [11, 13].

Месторождения из районов эпикратонного типа характеризуются существенно молибденовым, реже медно-молибденовым составом руд и наиболее близки молибден-порфировым объектам по классификации В. С. Попова [30]. В рудах этих месторождений отношение меди к молибдену варьирует от 0,4 до 20 (в среднем по основным промышленным объектам около 13) при непромышленных содержаниях меди. В таких рудах устанавливается минимальная рениеносность молибденитов (обычно десятки, реже первые сотни г/т). Месторождения практически не содержат золота и серебра. На некоторых объектах проявлена вольфрамовая минерализация.

Руды месторождений районов эпиmioгеосинклинального типа обладают молибденово-медным составом; отношение  $Cu : Mo$  колеблется от 15 до 40 при средневзвешенном около 23. Содержания рения в молибденитах близки к средним из известных определений и варьируют от 200 до 800 г/т при большей распространенности повышенных концентраций. Руды слабо золотосны и сереброносны.

В районах эпизвгеосинклинального типа месторождения обладают молибденово-медным составом руд. Величина  $Cu/Mo$  варьирует в диапазоне 30—235 при концентрациях  $Mo$ , иногда не имеющих промышленного значения. Рениеносность молибденита в таких рудах максимальна (1000 г/т и выше). Золотоносность руд повышена по сравнению с объектами эпиmioгеосинклинального типа, но заметно влияет на ценность руд лишь на отдельных месторождениях.

Существенно медный и золото-медный состав руд характерен для месторождений из эвгеосинклинальных районов, где содержания молибдена не превышают 0,001 % либо оказываются ниже этой величины.

Ценность меднопорфировых месторождений во многом зависит от содержаний благородных металлов. По ряду зарубежных месторождений эвгеосинклинального типа сравнительно низкие содержания меди в рудах (0,4—0,6 %) компенсируются тем, что на каждую тонну запасов этого металла в недрах приходится от 100 до 200 г золота, а на отдельных объектах и до 400 г/т серебра. Отношение золота к серебру на месторождениях меднопорфирового типа варьирует от 1 : 200 до 1 : 4.

Таким образом, месторождения меднопорфирового типа отчетливо разделяются на молибден-порфировые, медно-молибден-порфировые, молибден-меднопорфировые, золото-меднопорфировые, что коррелируется с петрологическими характеристиками рудоносного плутонизма, зависящими от типов рудных районов. На обобщенной диаграмме

(рис. 18) поля объектов, представляющих разные типы районов, частично перекрываются. Причиной этого, очевидно, является недостаточная сопоставимость исходных данных, включающих информацию по объектам с разными бортовыми содержаниями, с различными уровнями вскрытия эрозионным срезом и степенью разведанности.

В рудах молибден-порфировых месторождений ведущее значение имеют пирит, магнетит и молибденит, подчиненное — халькопирит и сфалерит с галенитом. На некоторых месторождениях известны вольфрамит, шеелит и касситерит. Обобщенная минералогическая зональность, проявляющаяся по радиусам-векторам от центров, отвечает генерализованному ряду: вольфрамит (шеелит) + (касситерит) — молибденит — молибденит + халькопирит — пирит. Магнетит обычно характерен для первых двух зон; пирит имеет сквозное распространение с максимумами в самой внешней, пропилютовой, зоне, где проявляется также галенит-сфалеритовая жильная минерализация с Au и Ag.

Минералогической зональностью определяется строение типоморфных рядов элементов в геохимических полях. От центров к периферии устанавливается смена элементов в следующей последовательности: W, Sn, Co, Mo, Cu, Zn, Pb, Ag. Выраженность этого ряда зависит от степени вскрытия месторождений эрозионным срезом.

Руды медно-молибден-порфировых месторождений образованы магнетитом, пиритом, молибденитом, халькопиритом, реже встречающимся борнитом и подчиненными галенитом и сфалеритом. На некоторых объектах в сульфидных зонах известен пирротин. Общий рисунок минералогической зональности отвечает ряду: магнетит — магнетит + молибденит — молибденит + халькопирит — халькопирит — пирит. Последний минерал присутствует в ассоциациях со всеми сульфидами и образует внешний ореол, в котором может быть развита жильная галенит-сфалерит-халькопиритовая минерализация с Au и Ag. Наличие борнита несколько меняет рисунок зональности, получающей выражение: магнетит — магнетит + молибденит — молибденит + борнит — борнит + халькопирит — халькопирит — пирит. Борнит также может образовывать самостоятельно зоны, располагающиеся между молибденитовой и халькопиритовой.

Обобщенная рудная зональность, выраженная через элементы и отвечающая строению геохимических полей, описывается рядом: Mo — Mo + Cu — Cu — Cu + Zn + Pb, имеющим в зависимости от эродированности месторождений различную полноту выражения.

Приведенные ряды характеризуют руды месторождений, в той или иной мере вскрытых эрозионным срезом. Вместе с тем на скрытом месторождении Речк (ВНР) в верхних частях меднопорфировой

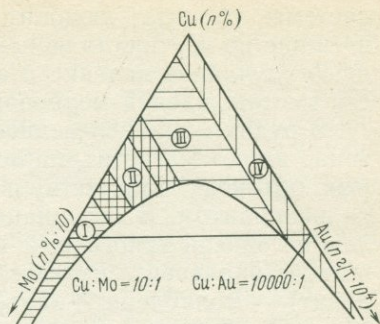


Рис. 18. Поля составов руд месторождений меднопорфирового типа из районов: I — эпикратонных; II — эпимегасинклинальных; III — эпизеогсинклинальных; IV — эвгеосинклинальных

системы развита люцит-энаргитовая минерализация. Вероятно, внешние по вертикали зоны медно-мышьякового состава не представляют случайное явление в общей рудно-метасоматической зональности месторождений меднопорфиrowого типа.

В рудах молибден-меднопорфиrowых месторождений ведущее значение имеют магнетит, пирит, халькопирит и молибденит. На некоторых объектах присутствует борнит почти в равных количествах с халькопиритом. В ассоциации с последним на отдельных месторождениях описан гипогенный халькозин. Обобщенный ряд минералогической зональности имеет следующее выражение: (магнетит+молибденит) — молибденит+халькопирит — халькопирит+(халькозин) — пирит. Во внешнем пиритовом ореоле, как и на рассмотренных выше объектах, проявляется полиметаллическая минерализация. На месторождениях с широким развитием борнита имеет место несколько иной рисунок зональности: молибденит — (молибденит+борнит) — борнит — борнит+халькопирит — халькопирит — пирит.

Геохимическая зональность молибден-меднопорфиrowых месторождений, по имеющимся данным, описывается следующими рядами:  $W+Be+Co+Sn-Mo+Cu+Bi-Zn+Pb+Ag-Sb-As$ ;  $W-Be-Sn-Mo-Cu-Zn-(Pb+Ag)$ .

Руды золото-меднопорфиrowых и меднопорфиrowых месторождений наиболее просты по составу. Обычный для таких объектов магнетит присутствует в интрузивной части меднопорфиrowых систем и составляет фон, на котором выделяется пирит-халькопиритовая зона, сменяющаяся на периферии пиритовой. Встречающийся в резко подчиненных количествах борнит развивается во внутренней зоне, а галенит и сфалерит — во внешней. По ограниченному числу данных типоморфным рядом элементов, описывающим геохимическую зональность, является:  $Cu-Zn+Pb-As$ .

Во всех выделенных по минеральному составу типах месторождений ведущая роль принадлежит пириту, соотношения которого с другими сульфидами варьируют от 0,5 : 1 до 20 : 1. Широким развитием, как отмечалось, пирит пользуется во внешних частях месторождений, поэтому его металлоносность имеет существенное поисковое значение. Целенаправленные разработки этого вопроса пока, к сожалению, отсутствуют. В то же время данные по отдельным хорошо изученным объектам представляют значительный интерес.

На месторождении Дальнее И. М. Голованов исследовал состав элементов-примесей в пиритах в вертикальном диапазоне более 650 м. От нижних горизонтов к верхним им установлено уменьшение концентраций, г/т: селена от 68 до 52, теллура от 10 до 7, висмута от 108 до 30. По данным спектрального анализа, содержания молибдена максимальны на промежуточных горизонтах, где они в 3—5 раз выше, чем на верхнем и нижнем. Никеленосность пиритов увеличивается от нижнего горизонта по направлению вверх, а затем постепенно падает до тех же уровней. Концентрации кобальта несколько убывают от нижнего уровня к промежуточным, а затем вновь возрастают.

Данные распределения элементов-примесей в пиритах Коксайского месторождения, полученные А. И. Кривцовым, В. М. Шепелевым

и В. Б. Шишаковым в диапазоне глубин около 1500 м по падению частных минерализованных зон, совпадают с данными И. М. Голованова. Отмечена повышенная кобальтоносность пирита верхних горизонтов при низкой никеленосности нижних. Большими содержаниями меди характеризуются пириты верхних частей, тогда как максимальными концентрациями молибдена характеризуются пириты промежуточных уровней.

Важное поисковое значение имеют проявления медно-мышьяковой минерализации, которая развивается во внешних по вертикали частях меднопорфировых систем. Эти продукты рудогенеза, иногда традиционно относимые к самостоятельной рудной формации, требуют переоценки с указанных позиций.

Признаки внешних частей меднопорфировых систем вытекают из рассмотренной выше рудно-метасоматической зональности. Периферия систем маркируется зонами пропитализации, пиритовыми ореолами, проявлениями свинцово-цинковой минерализации. В некоторых случаях на флангах меднопорфировых систем могут развиваться зоны турмалинизации и появляться медно-турмалиновые жилы.

Зоны турмалинизации с сопутствующей медной минерализацией, жилы и жильные системы медно-турмалинового состава достаточно надежно маркируют ближнюю периферию меднопорфировых систем. Особый случай представляют так называемые *турмалиновые брекчии*, слагающие трубки и дайки. Такие тела могут иметь медную минерализацию в промышленных масштабах и представлять значительные по масштабам объекты.

Следует подчеркнуть, что обособления медной и полиметаллической минерализации в форме жил известны на флангах многих меднопорфировых месторождений. В ряде случаев такие жилы разрабатывались задолго до обнаружения месторождений. В то же время, неясно, получают ли развитие подобные жилы на верхних уровнях меднопорфировых систем.

Приведенные выше данные о строении периферических частей меднопорфировых систем и их признаках показывают, что на современном уровне изученности такие системы могут быть надежно опознаны при достаточно глубоком расположении эрозийного среза, обеспечивающего выведение на доступные глубины зон промышленной минерализации, представляющих главный объект поисковых работ.

Золотоносность месторождений меднопорфирового типа имеет существенное значение для геолого-экономической оценки этих объектов, комплексного использования их руд, совершенствования методов поисков.

Содержание золота, составляющего заметную долю промышленной ценности меднопорфировых руд, как и запасы этого металла, варьируют от объекта к объекту. По оценке В. С. Попова, сделанной в 1977 г., 20 зарубежных месторождений по запасам золота распределяются следующим образом: 25 % — 1—10 т; 45 % — 10—100 т; 25 % — 100—1000 т и 5 % — более 1000 т. То же, для 19 месторождений по запасам серебра: 5 % — 10—100 т; 58 % — 100—1000 т; 26 % — 1000—10 000 т и 11 % — более 10 000 т. Отметим, что за

1968—1972 гг. корпорацией «Кеннекот», перерабатывающей руды меднопорфировых месторождений, попутно получено 54,8 т золота и 734,3 т серебра, содержания золота и серебра в рудах составили соответственно 0,18 и 2,2 г/т. Основная продукция этих месторождений за тот же период составила 2,3 млн. т меди при содержании этого металла в руде около 0,77 %.

Геохимическая специализация руд меднопорфировых месторождений из районов различного типа выражается не только разной насыщенностью медью и молибденом, но также и золотом, что отчетливо видно из рис. 18. Эта диаграмма, составленная по методу, предложенному С. Кезлером, учитывает данные по 55 месторождениям капиталистических и развивающихся стран. Следует сразу же оговорить, что границы полей составов руд месторождений из районов разного типа не могут считаться окончательными, поскольку в эту выборку вошли объекты с различной глубиной эрозионного среза и варьирующей долей вторичных руд. Вместе с тем распределение месторождений на этой диаграмме дает представление о различиях в их золотоносности.

Месторождения районов эпикратонного и эпимиогеосинклинального типов практически не содержат золота. Для единичных объектов с известной золотоносностью величина  $Au/Cu$  составляет менее 1 : 200 000 (ниже 5 г Au на 1 т Cu в запасах). Исключение в этом отношении составляет месторождение Бингхэм (США), где на 1 т меди в запасах приходится больше 10 г золота. Аномально высокой золотоносностью обладают руды месторождения Коппер-Каньон (США). Здесь при запасах около 10 млн. т руды содержится: меди 0,67 %, золота 0,9 г/т (более 130 г на 1 т запасов меди) и серебра 10,8 г/т.

Наибольшие содержания золота известны для месторождений, представляющих районы эвгеосинклинального типа. При общих невысоких содержаниях меди и крайне низких молибдена на значительном числе таких месторождений на 1 т запасов меди приходится от 20 до 100 г золота. К эвгеосинклинальному типу принадлежит большинство месторождений и рудопроявлений Юго-Восточной Азии и Океании. На некоторых месторождениях значительные количества золота установлены в зонах гипергенных преобразований. Так, на месторождении Ок-Теди (Папуа Новая Гвинея) в зоне выщелачивания, содержащей лишь 0,02 % меди, запасы золота при бортовом содержании 1,5 г/т и среднем 3 г/т составляют 90 т.

Имеющиеся материалы о золотоносности меднопорфировых месторождений позволяют приблизительно оценить роль этих объектов в добыче и ресурсах золота в капиталистических и развивающихся странах. Если принять показатели корпорации «Кеннекот» в качестве среднего значения извлекаемого содержания золота (23 г на 1 т добываемой меди, что существенно ниже максимальных величин), то годовое производство золота из руд этих объектов может быть оценено минимум в 80 т. Учитывая, что запасы меди в рудах месторождений меднопорфирового типа составляют не менее 300 млн. т, можно полагать, что ресурсы золота в них достигают величины порядка первых десятков тысяч тонн.

Приведенные выше данные говорят о важной роли меднопорфировых месторождений в добыче золота. Некоторые объекты по своему промышленному значению являются скорее медно-золоторудными, чем меднорудными, обладая запасами золота в десятки и сотни тонн. Важно подчеркнуть, что золотоносные месторождения меднопорфирового типа более доступны для обнаружения при поисках (в первую очередь за счет значительных размеров) по сравнению с золоторудными месторождениями других промышленно-генетических типов, имеющими сопоставимые запасы золота.

Золотоносность месторождений меднопорфирового типа имеет существенное значение для поисков таких объектов. В этой связи отметим, что вблизи некоторых меднопорфировых месторождений еще до их обнаружения отрабатывались россыпи золота (Бингхэм, США и др.). В Папуа Новой Гвинее и на Филиппинах отложения водотоков, дренирующих меднопорфировые месторождения, несут повышенные содержания золота, иногда достигающие промышленных значений. Наличие золота в потоках и шлейфах рассеяния в сочетании с другими данными является надежным поисковым критерием, используемым при рекогносцировочных поисках.

В условиях интенсивного развития гипергенных процессов меднопорфировые месторождения часто не получают отчетливого выражения в аномальных концентрациях меди во вторичных и первичных ореолах. Повышенные содержания меди в солевых ореолах иногда оказываются значительно смещенными относительно выхода промышленных руд. Зона последних при этом отчетливо выделяется аномальными концентрациями золота.

В целом анализ зарубежных месторождений меднопорфирового типа показывает, что наиболее высокой золотоносностью обладают объекты, находящиеся в районах эпизевгеосинклинального и эвгеосинклинального типов. По запасам золота такие месторождения сопоставимы с собственно золоторудными месторождениями, но более доступны для обнаружения при поисках. Меднопорфировые месторождения могут сопровождаться золотоносными делювиальными и аллювиальными отложениями, а в некоторых случаях и россыпями золота. В то же время, в обстановке интенсивных гипергенных преобразований минерализованные зоны меднопорфировых месторождений при геохимических поисках не выделяются аномалиями меди, но могут отчетливо маркироваться повышенными содержаниями золота.

**Руды зоны гипергенеза.** На многих месторождениях меднопорфирового типа до недавнего времени основную ценность составляли руды зоны вторичного сульфидного обогащения. Хотя такие руды по-прежнему определяют уровни промышленного значения месторождений, особенно с низкими первичными содержаниями меди, роль гипогенных сульфидных руд увеличивается из года в год. Вследствие этого ограниченное развитие зон вторичного сульфидного обогащения не может рассматриваться на поисковой стадии как негативный признак.

Гипергенная зональность меднопорфировых месторождений полностью подчиняется классической схеме С. С. Смирнова.

Самая верхняя из зон гипергенных преобразований, выделяемая в зарубежной литературе под названием зоны «кэпинга», характеризуется широким развитием окисных соединений железа, марганца и охр. Они, однако, не образуют таких сплошных тел, как например, «железные шляпы» колчеданных месторождений, а в определенных климатических и геоморфологических обстановках могут вообще не развиваться.

Следующая по вертикали зона обычно образована малахитом, азуритом, хризоколлой, а иногда содержит брошантит, антлерит, бирюзу. Минералы этой зоны обычно развиваются в форме гнезд, пятен, примазок и в поисковой практике выделяются как участки распространения «медной зелени».

В зоне вторичного сульфидного обогащения господствует халькозин, иногда сочетающийся с ковеллином и первичными сульфидами.

По обобщенным оценкам В. С. Попова, на месторождениях с проявлениями гипергенных преобразований мощность зон выщелачивания и окисления варьирует от первых десятков до первых сотен метров. Мощность зоны вторичного сульфидного обогащения колеблется от первых метров до десятков метров, в исключительных случаях превышает 100 м.

Непосредственные выходы на дневную поверхность зон вторичного сульфидного обогащения и первичных руд возможны в исключительных обстановках молодого резко расчлененного рельефа. Обычной и преобладающей формой выражения месторождений на поверхности являются участки развития «кэпинга» и «медной зелени».

## ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ. МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Основные черты строения меднопорфировых систем и характеристики меднопорфировых месторождений, рассмотренные в предшествующих разделах, определяют набор поисковых критериев и признаков. По существу в качестве таковых выступают элементы меднопорфировых систем и моделей меднопорфировых месторождений.

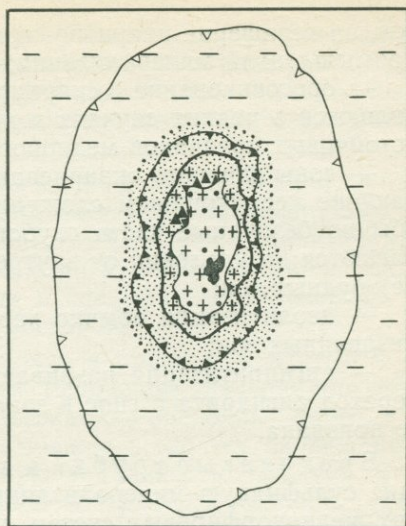
По современным геолого-экономическим требованиям промышленное значение могут иметь объекты, на которых эрозионный срез обеспечивает вскрытие рудоносных частей систем при ограниченной мощности перекрывающих отложений. Применительно к такой ситуации на поверхности эрозионного среза рудные тела располагаются во внутренних частях системы геологических объектов, каждый из которых отвечает поисковому признаку (рис. 19).

Ореолы пиритизации формируют внешнюю зону меднопорфировых систем, совпадающую с зоной пропицитизации, и развиты почти во всех обстановках нахождения данных месторождений. Обширные поля рассеянной пиритизации скорее выступают в качестве поискового критерия, а не признака, поскольку проявления этого процесса могут быть и не связаны со становлением меднопорфировых систем.

Жильная и прожилковая свинцово-цинковая минерализация, развитая в пиритовых ореолах, маркирует внешние

Рис. 19. Модель горизонтального сечения значительно эродированного медно-порфирового месторождения (размеры зон приняты по модели Д. Ловелла и Д. Джилберта).

1 — рудоносный порфировый интрузив; 2 — взрывчатые брекчии; 3 — кварцевое «ядро»; 4 — зона калишпатизации и биотитизации; 5 — зона окварцевания и серицитизации; 6 — пропилитизированные породы; 7—9 — границы ореолов (7 — калишпатизации и биотитизации); 8 — окварцевания и серицитизации; 9 — интенсивной пиритизации); 10 — контуры промышленных руд



части меднопорфировых систем, но, очевидно, может иметь и иную природу, чем определяется неоднозначность этого критерия.

Турмалиновая и медно-турмалиновая минерализация в виде жил и цемента брекчиевых тел характеризует внешние по вертикали и латерали части меднопорфировых систем, но проявляется далеко не во всех обстановках нахождения месторождений.

Гидротермально-метасоматические изменения, обычно характеризующиеся зональным проявлением, принадлежат к числу надежных признаков, позволяющих определять положение рудных тел относительно данных точек наблюдения (см. рис. 16, 19):

— аргиллизация в определенных обстановках может развиваться в зоне между рудными телами и пиритовым (пропилитовым) ореолом, а также непосредственно в рудоносной части системы;

— серицитизация и окварцевание («филлизиты») обычно маркируют собственно рудоносную часть системы с выходами за промышленные контуры к центру и на периферию, где могут сменяться аргиллизацией;

— калишпатизация, иногда в ассоциации с биотитизацией, фиксирует внутренние части глубоко эродированных объектов; в некоторых случаях в пределах этой зоны располагаются внутренние ограничения рудных тел;

— биотитизация проявляется в различных зонах, что зависит от обстановки нахождения месторождений; в эпикратонных и миогеосинклинальных обстановках зоны таких изменений занимают ту же позицию, что и калишпатизация, а в эпизгеосинклинальных и эвгеосинклинальных могут развиваться в экзоконтактных зонах интрузи-

вов, на периферии кварцево-серицитовых изменений, и вмещать часть промышленной минерализации;

— ороговикование и скарнирование пород интрузивной рамы проявляются в редких случаях и не принадлежат к числу «сквозных» и устойчивых признаков меднопорфировых систем;

— зоны сливного окварцевания — кварцевые «ядра», иногда обладающие пегматоидным сложением, надежно маркируют внутренние, обычно безрудные части глубоко эродированных объектов и располагаются на удалении от внутренних границ кольцеобразных (в плане) рудных тел;

— цеолитизация обычно характерна для верхних частей минерализованных зон;

— ангидритизация развивается в нижних частях рудных тел, но переход ангидрита в гипс в зонах гипергенеза снижает значение этого признака.

Брекчиевые трубки и валунчатые дайки, обычно несущие сульфидную минерализацию, широко развиты на верхних уровнях меднопорфировых систем, иногда вне пространственной связи с порфировыми штоками, и могут представлять специфический морфологический тип рудных тел. На нижних уровнях брекчиевые образования, как правило, не выходят за пределы рудоносных порфировых штоков.

Рудоносные интрузивы, представленные штоками, неправильными телами, дайками и сериями сопряженных даек, в зависимости от типа районов могут быть сложены гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами, кварцевыми монзонит-порфирами, кварцевыми диоритовыми порфиритами, плагиогранит-порфирами, иногда сиенит-порфирами. Поисковое значение подобных образований особенно велико в тех случаях, когда в них проявлены те или иные из перечисленных выше преобразований и сульфидная минерализация. Практически обнаружение заведомо рудоносного интрузива эквивалентно выявлению месторождения.

Рудные тела, занимающие достаточно определенное место в руднометасоматической зональности меднопорфировых систем, сами обладают зональным строением. Прежде всего это выражается в закономерных переходах от центра систем к периферии вкрапленных руд в мелкопрожилково-вкрапленные и прожилковые. В то же время в пределах промышленных контуров основные рудообразующие минералы могут размещаться зонально в виде следующих вариантов рядов (по радиусам-векторам от центра): молибденит — халькопирит, молибденит — борнит — халькопирит, борнит — халькопирит.

Зона окисления сульфидных руд, характеризующаяся развитием окисных соединений железа и марганца, может располагаться как на выходах промышленных руд, так и вне их — в пределах пиритовых ореолов. Участки развития «медной зелени» более надежно маркируют площади развития молибденово-медной и медной минерализации.

Прожилковое окварцевание без видимой сульфидной минерализации в сочетании с окисными соединениями железа и марган-

ца иногда может быть выразительным признаком минерализованных участков в зонах гипергенеза. Плотность развития штокверка кварцевых (иногда калишпат-кварцевых) прожилков имеет максимальные значения в осевой части интрузив-надинтрузивных зон и снижается в обе стороны от нее.

Проявления медно-мышьяковой минерализации характерны для внешних по вертикали частей меднопорфировых систем. Этот тип минерализации в известных случаях развития пространственно располагается над скрытыми рудными телами и выступает в качестве поискового критерия в специфических условиях ведения работ на глубокозалегающие месторождения.

Ни один из перечисленных критериев и признаков, взятый в отдельности, не является определяющим. Решающее значение для обнаружения объекта, заслуживающего постановки оценочных работ, имеет выявление комплекса признаков, прежде всего тех из них, которые отражают руднометасоматическую зональность. Следует особо подчеркнуть, что отсутствие на дневной поверхности выходов порфировых тел в пределах площадей развития гидротермально-метасоматических изменений не может считаться негативным фактором. В ряде случаев, как показывает отечественный и зарубежный опыт, значительные по запасам рудные тела ассоциируют с интрузивами, залегающими на значительных глубинах.

Задачей поисковых работ ранних стадий является установление комплекса поисковых критериев и признаков с целью обнаружения участков для постановки поисково-оценочных работ. Применяемые при этом методы поисков подчинены задаче обнаружения тех или иных признаков в соответствии с разрешающими возможностями конкретных методов. Эффективность каждого из методов и их сочетаний определяется степенью реализации принципов последовательного приближения и соответствия (методов признакам).

Геологические методы включают картирование потенциально перспективных площадей и обеспечивают выявление практически всех критериев и признаков. Существенное значение для эффективного ведения работ имеет качественная геологическая интерпретация результатов геофизических и геохимических методов поисков.

Дистанционные методы геологического картирования решают задачу выделения потенциально перспективных площадей значительных масштабов. Дешифрирование протяженных разломов, кольцевых, полукольцевых, дуговых и радиальных структур позволяет установить неоднородность строения металлогенических зон и прогнозировать позицию возможных рудных районов. Черно-белые аэрофотоматериалы даже при благоприятной обнаженности не обеспечивают надежного разделения интрузивных массивов и фаз по составу. Большими возможностями обладают материалы цветных и спектральных съемок. Показательным примером в этом отношении служат выявление с помощью цветных снимков на юго-западе США зон «кэпинга», часть из которых зафиксировала промышленно значимые объекты.

Геофизические методы. Существенные различия в природе элементов меднопорфировых систем и их выражении в физических полях определяют разную эффективность выявления поисковых критериев и признаков геофизическими методами — грави-, магнитометрическими, гамма-спектрометрическими, электроразведочными.

Гравиметрические и аэромагнитометрические съемки в средних масштабах имеют ограниченную поисковую эффективность. Этими видами работ возможно выявление региональных факторов, определяющих строение металлогенических зон и позицию в них рудных районов. Установление блоков различного строения, разрывных нарушений, палеоподнятий, плутонов разного состава, обеспечиваемое этими методами, подчинено задаче выявления перспективных площадей в ранге рудных районов и должно предшествовать постановке собственно поисковых работ.

Крупномасштабные гравиметрические съемки в сочетании с другими методами способствуют расчленению потенциально рудоносных плутонов и расшифровке их внутреннего строения. Наземная магнитометрия дополняет гравиметрические исследования и имеет самостоятельное поисковое значение. Обширный опыт использования магнитометрии при поисках меднопорфировых месторождений свидетельствует о достаточно высокой эффективности этого метода. Вместе с тем интерпретация его результатов требует учета специфики объектов поиска, определяемой обстановками нахождения месторождений и их строением.

Магнитометрическими съемками выделяются экзоконтактные зоны интрузивов, сопровождающихся ороговикованием и скарнированием пород интрузивной рамы; зоны развития магнетита во внутренних частях меднопорфировых систем. Собственно рудоносные части, совпадающие с зонами серицитизации, окварцевания и аргиллизации, могут фиксироваться отрицательными аномалиями, природа которых без дополнительной информации не всегда поддается однозначной интерпретации. Строение магнитных полей некоторых меднопорфировых месторождений иллюстрируется схемами (рис. 20).

Аэрогаммаспектрометрический метод используется как рекогносцировочный, решающий задачу выделения потенциально перспективных площадей значительных масштабов, в наземном варианте этот метод, как показывают результаты опытно-методических работ, позволяет оконтуривать участки серицитизации и калишпатизации, природа которых расшифровывается с привлечением дополнительной информации.

Эффективность метода вызванной поляризации (ВП) доказана практикой поисков меднопорфировых месторождений в СССР и за рубежом. Этот метод позволяет выделять все сульфидсодержащие зоны меднопорфировых систем. При этом ореолам отвечают максимальные значения аномалий, тогда как халькопирит- и борнитсодержащие зоны фиксируются аномалиями умеренных и малых значений. Многоразное комбинированное профилирование по методу ВП, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ ВП) и выполнение варианта срединного градиента (СГ ВП) позволяют определить пространенность сульфидсодержащих зон на глубину.

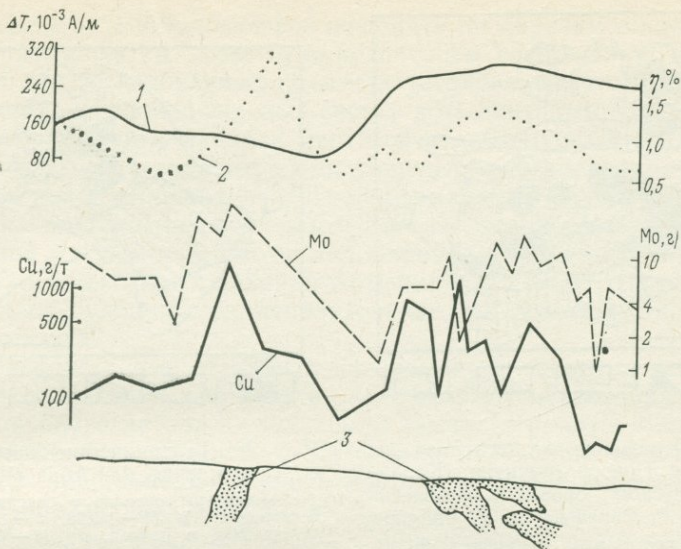


Рис. 20. Разрез месторождения Хаймонт (Канада). По А. Риду и Дж. Джамбору.

1 — данные аэромагнитометрии  $\Delta T$ ; 2 — результаты метода вызванной поляризации  $\eta$ ; 3 — рудные тела

Метод естественного поля применим при наличии хорошо развитых зон гипергенных преобразований, которые характерны для определенных климатических и ландшафтных условий.

Геохимические методы находят широкое применение на всех стадиях геологоразведочных работ — от рекогносцировочно-поисковых до детализационных на локальных участках. Эти методы зарекомендовали себя как высокоэффективные в самых разнообразных условиях ведения поисков.

Позиция потенциально перспективных площадей в условиях резко расчлененного рельефа и хорошо развитой дренажной сети достаточно надежно определяется при рекогносцировочных геохимических поисках с опробованием отложений водотоков (донные осадки, косовые отложения, аллювий временных потоков). Плотность пробоотбора в малозученных районах, как показывает зарубежный опыт, варьирует от одной пробы на 10—25 км<sup>2</sup> до двух проб на 1 км<sup>2</sup>. Материал проб обычно анализируется на медь, свинец и цинк, иногда на молибден, серебро, золото. Детализационные работы на перспективных участках с опробованием донных осадков и почв (при наличии остаточных почв) позволяют выделить аномальные участки.

В практике общих и детальных поисков обычно исследуются почвенные ореолы с опробованием на основные рудообразующие элементы (медь, молибден, свинец, цинк, реже серебро, золото, мышьяк). При различных вариантах смещения почвенных ореолов относительно рудных тел в распределении рудообразующих элементов сохраняется рисунок зональности, характерный для рудных тел и их обрамления. При этом участки повышенных концентраций меди обычно

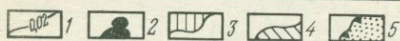
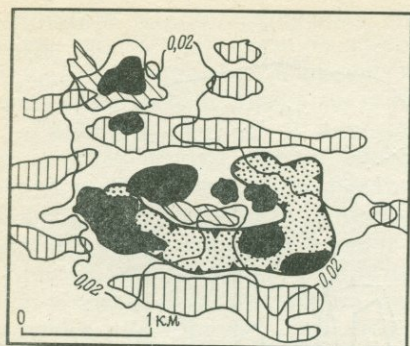


Рис. 21. Отражение рудного тела месторождения Понсон Маунтин (Канада) в геохимическом ореоле и физических полях. По Р. Серафиму и У. Рэйнботу. 1—2 — содержание меди в почвах, % (1 — 0,02, 2 — >0,08); 3—4 — аномалии (3 — вызванной поляризации, 4 — наземной магнитометрии); 5 — первичные руды с содержанием  $\text{Cu} > 0,25\%$

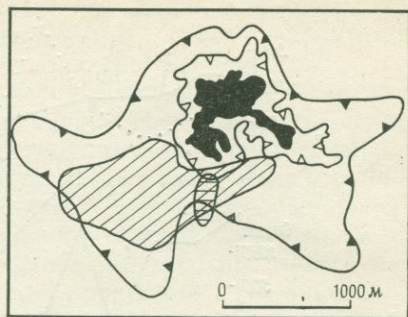


Рис. 22. Геохимические ореолы месторождения Эль Абра (Чили).

1—2 — контуры ореолов с содержанием меди в породах, % (1 — >0,08, 2 — >0,3); 3—5 — содержание в почвах, г/т (3 —  $\text{Cu} > 1285$ , 4 —  $\text{Mo} > 20$ , 5 —  $\text{As} > 67$ )

фиксируются отчетливо выраженными положительными аномалиями этого элемента в почвенном слое. Вместе с тем в обстановках хорошо проработанных зон гипергенных преобразований над рудными телами могут проявляться отрицательные аномалии меди. Более высокие концентрации этого элемента накапливаются в почвах на периферии рудоносных зон, где относительно слабопреобразованные породы оказываются более устойчивыми к гипергенным процессам.

В целом геохимические методы поисков обеспечивают решение задач по определению позиции перспективных площадей, обнаружению участков, представляющих поисковый интерес, и установлению возможного положения зон промышленно значимой минерализации. Последние обычно располагаются в центральных частях почвенных аномалий меди, обрамляемых участками повышенных концентраций свинца, цинка и мышьяка. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что эффективное ведение работ требует обязательного сочетания геохимических методов с геофизическими и геологическим картированием. Лишь при этих условиях обеспечивается необходимая достоверность интерпретации геохимических данных. Некоторые примеры применения геохимических методов поисков приведены на схемах (рис. 20—22).

Перечисленные выше методы принадлежат к числу широко апробированных на практике и входят в типовой комплекс методов при поисках меднопорфировых месторождений. Кроме того, существуют специальные методы, разработавшиеся и опробованные на единичных объектах, но пока еще не используемые широко при поисках.

Шлиховой минералого-геохимический метод, предложенный В. Ф. Гуревым, базируется на изучении выделяемых из

шлихов пиритов и псевдоморфоз лимонита по пиритам с анализом их кристаллографических форм и определением содержаний элементов-примесей. На исследованных объектах установлено, что от периферических частей меднопорфировых систем к их центрам происходит смена кубических форм вначале пентагон-додекаэдрическими, а затем октаэдрическими. Набор и уровни концентраций элементов-примесей в пиритах дают дополнительную информацию о глубине вскрытия месторождений эрозионным срезом на базе данных о первичной геохимической зональности. Метод апробирован в Южно-Гобийском районе МНР и в некоторых районах Армении с положительными результатами, допускающими его использование при рекогносцировочных и обших поисках.

Т. Ловеринг и Дж. Маккарти на примере проведения рекогносцировочных поисков на юго-западе США считают целесообразным введение шлихового метода в следующий комплекс работ:

— опробование глинистого материала отложений водотоков, позволяющее приближенно оценить местонахождение коренного источника рудообразующих элементов;

— собственно шлиховой метод с определением содержаний рудообразующих элементов и элементов-примесей в магнитной, немагнитной и тяжелой фракциях, концентрирующих продукты разрушения зон гипергенеза, вскрытых эрозией месторождений;

— опробование интрузивных пород на массу и отбор монофракций темноцветных минералов, в первую очередь биотита, и определение содержаний меди с целью установления принадлежности массивов к потенциально рудоносным.

Магнитная фракция шлихов содержит обломки окисных минералов железа и марганца, особенно обильные на участках вскрытия месторождений дренажной сетью. Высокие содержания элементов-примесей в магнитной фракции связаны с поступлением материала непосредственно из зон окисления рудных тел. Высокие концентрации марганца в магнитной фракции характерны для периферических частей зон меднопорфировой минерализации; резкое преобладание железа над марганцем в этой фракции устанавливается в пределах пиритовых ореолов; высокие концентрации металлов в немагнитной фракции сопоставимы с уровнями их содержаний в рудах при вскрытии их эрозионным срезом.

В плане совершенствования геохимических методов поисков представляют интерес результаты работ по анализу распределения теллура на месторождениях района Робинсон (США). По данным Дж. Ваттерсона, средние содержания теллура в метасоматитах на два порядка выше кларковых. Максимальные концентрации этого элемента широкими почти непрерывными ореолами фиксируют внешние части рудных зон меднопорфировых месторождений.

На примере некоторых месторождений Чили установлено существенное повышение содержаний рубидия в зонах гидротермально-метасоматических изменений (в 2—3 раза выше фоновых) и низкие значения отношения калия к рубидию. В зонах пропитализации, как правило, не несущих повышенных (против фоновых) содержаний калия, рубидий образует ореолы высоких концентраций в зонах шири-

ной в сотни метров. Ограниченная мобильность рудидия при гипергенных процессах открывает принципиальную возможность выявления в зонах гипергенеза продуктов преобразований сульфидоносных метасоматитов.

Геоботанические, био-, атмо-, гидрогеохимические и термобарометрические методы поисков, в различных объемах испытываемые на отечественных и зарубежных объектах, пока не приобрели самостоятельного значения и лишь дополняют другие методы без существенного повышения эффективности поисков.

Следует отметить, что из всех перечисленных методов для решения главной задачи поисков — обнаружения меднорудной минерализации — используется устоявшееся сочетание методов: вызванной поляризации, наземной магнитометрии, почвенной геохимии. Совмещение аномалий, выявленных этими методами, как правило, фиксирует участки развития рудной минерализации, масштабы и значение которой оцениваются традиционными геологическими методами.

Эффективное применение комплекса методов в Актогайском районе Казахстана описано в работе [27]. Месторождения района отмечаются локальными гравитационными и магнитными минимумами, отвечающими площадям интенсивных гидротермальных изменений пород, в которых магнетит превращен в гётит и гидрогётит. Аномалии, выявленные методом вызванной поляризации, фиксируют зоны пиритизированных пород, занимающие значительные площади, и отчетливо отмечают площади месторождений. При литогеохимической съемке устанавливаются не только площади развития оруденения, но и формы выходов рудных тел на поверхность.

Характер отражения месторождения Актогай в физических полях иллюстрирует рис. 23. Это месторождение расположено в позднекаменноугольно-раннепермском вулканоплутоническом поясе эпизвогеосинклинального типа. Вулканы рудоносной ассоциации представлены туфами и лавами андезитового и дацитового состава, обладающими пологим залеганием. Плутониты этой ассоциации слагают Колдарский интрузивный массив, образованный (от ранних фаз к поздним) габбро, габбро-диоритами, кварцевыми диоритами, гранодиоритами и гранодиорит-порфирами.

Оруденение контролируется штокообразными телами гранодиорит-порфиров и развивается в виде кольцевой зоны. В центральной безрудной части месторождения располагаются локально развитые эруптивные брекчии и кварцевые тела. Рудная минерализация присутствует в калишпатизированных, серицитизированных и ороговикованных породах при концентрически зональном распределении содержания меди.

По морфологическим особенностям рудное тело Актогайского месторождения принадлежит к конформной группе объектов и имеет форму опрокинутого пологоусеченного конуса с коронообразным выклиниванием на глубине. Образующие внешней конической поверхности имеют более пологие наклоны, чем внутренней, вследствие чего рудное тело выклинивается на сравнительно ограниченных глубинах. В целом Актогайское месторождение представляет значительно эродированный объект со вскрытием комплекса элементов внутренних

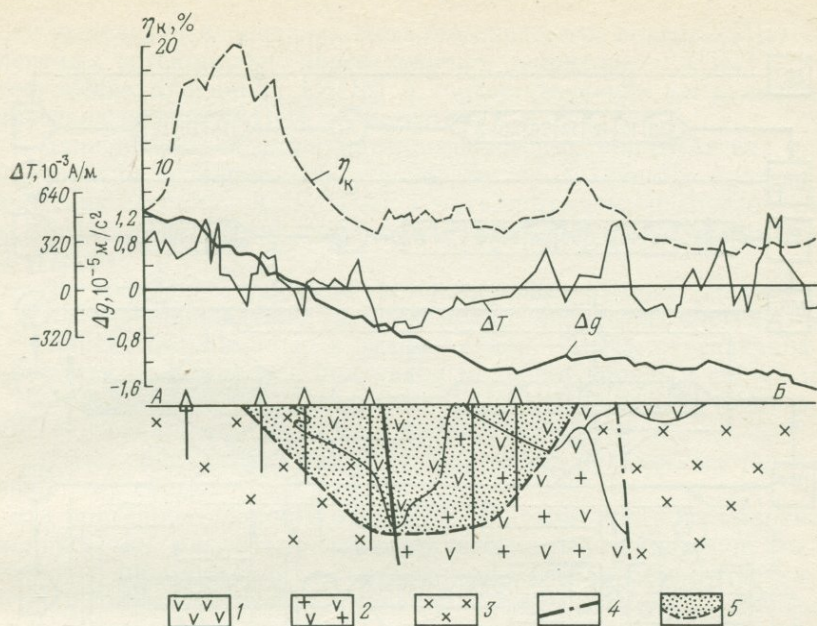


Рис. 23. Разрез месторождения Актогай. По В. П. Коняеву, В. П. Стеценко, В. Ф. Штифанову.

1 — лавы и туфы андезитового и андезит-дацитового состава, туффиты (C<sub>3</sub>-P<sub>1</sub>); 2 — малые интрузии гранодиорит-порфиров; 3 — кварцевые диориты и гранодиориты; 4 — разрывные нарушения; 5 — контур молибденово-медного оруденения

частей меднопорфировой системы, что определяет благоприятные условия ведения поисков.

Детализация аномалии, выявленной ВП на Актогайском месторождении постановкой метода многоразностного комбинированного профилирования ВП, позволила оценить распространенность оруденения на глубину. При проведении оценочных работ для определения наличия оруденения в межскважинном пространстве использовался метод ВП в модификации трехэлектродного профилирования и вертикального профиля. После проходки одиночных скважин с целью установления размеров минерализованных зон ставился метод глубинного заряда.

В целом комплекс геохимических и геофизических работ, выполненных при поисках и оценках, обеспечил целенаправленное проведение разведки месторождения в минимальные сроки.

## ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЙ КОМПЛЕКС И ЕГО СОДЕРЖАНИЕ

Работы по прогнозу и поискам меднопорфировых месторождений, направленные на выявление всех объектов прогноза и поисков и их геологических и формационных эквивалентов, характеризуются следующей последовательностью (рис. 24):

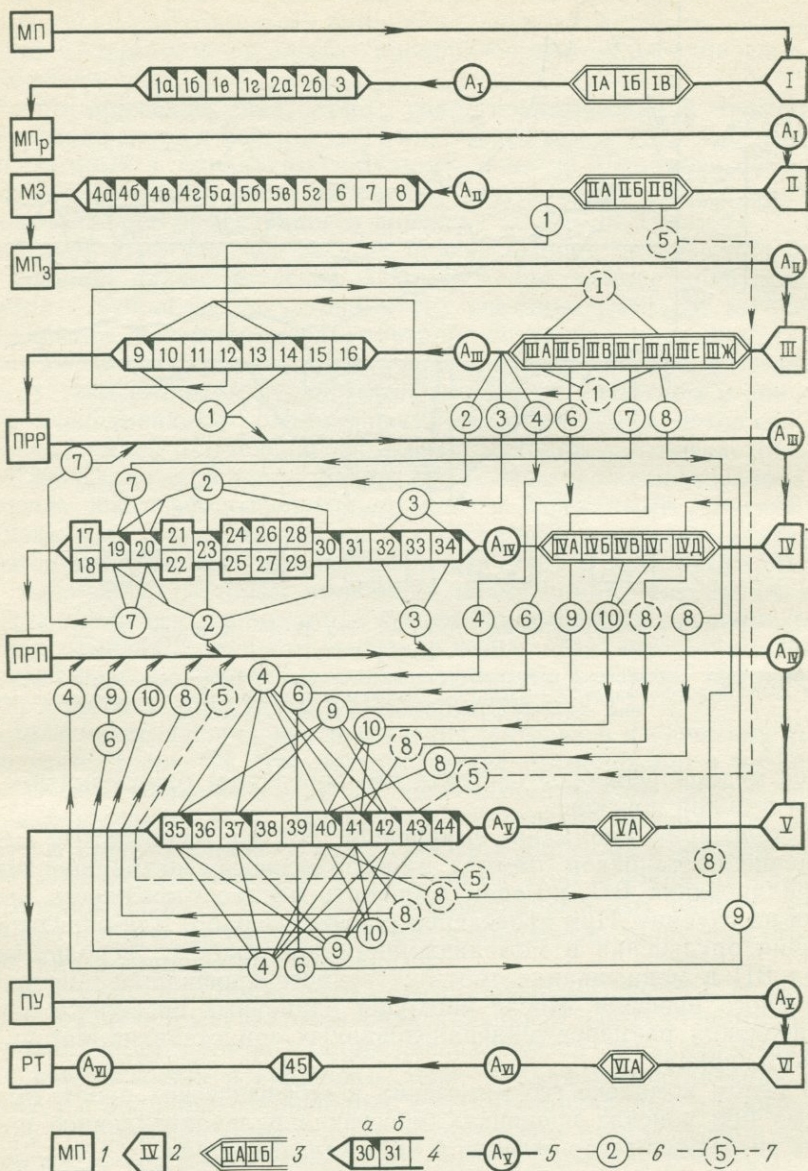


Рис. 24. Схема прогнозно-поискового комплекса для меднопорфировых месторождений.

1 — объекты прогноза и поисков и их геологические и формационные эквиваленты; 2 — стадии работ (I—VI); 3 — комплексы методов и видов работ по стадиям; 4 — комплексы признаков (а — главные, б — второстепенные); 5—7 — варианты ведения поисков (5 — основной, 6 — сокращенные, 7 — с риском получения отрицательных результатов)

— выделение в пределах металлогенических поясов (МП), эквивалентных потенциально-перспективным территориям (ППТ), металлогенических провинций (МПр) и соответствующих им вулcano-плутонических поясов (ВПП) разного типа;

— определение позиций металлогенических зон (МЗ) как площадей развития потенциально рудоносных продуктивных вулcano-плутонических ассоциаций (ПВПА) и металлогенических подзон (МПЗ) как ареалов распространения продуктивных плутогенных формаций (ППФ);

— установление площадей потенциальных рудных районов и узлов (ПРР), эквивалентных группам меднопорфировых систем (МПС);

— поиски потенциальных рудных полей (ПРП), отвечающих перспективным по комплексу признаков меднопорфировым системам;

— обнаружение перспективных поисковых участков (ПУ) в пределах внутренних зон меднопорфировых систем;

— выявление рудных тел (РТ) в пределах рудоносных зон меднопорфировых систем.

Эта последовательность отражена на схеме прогнозно-поискового комплекса (см. рис. 24), разработанного на базе принципов последовательного приближения и соответствия. Для каждого отрезка приведенной последовательности, эквивалентного стадиям и подстадиям геологоразведочного процесса, соблюдается соответствие между металлогенической категорией, геологическими образованиями и их признаками и методами, обеспечивающими обнаружение этих признаков и составляющими содержание соответствующих стадий.

Схема прогнозно-поискового комплекса представляет концентрированное выражение методики выполнения работ на разных стадиях геологоразведочного процесса с учетом наиболее распространенных обстановок его реализации. Принятая форма выражения комплекса исключает многословные описания, определяет регламентацию совокупности действий при прогнозе и поисках и дает возможность создания конкретных схем управления геологоразведочным процессом.

Основной вариант прогнозно-поискового комплекса предусматривает проведение работ в приведенной на рис. 24 последовательности с обнаружением всех объектов прогноза и поисков и отвечает наиболее длинному пути реализации регионального прогноза в рудные тела по цепи отрезков  $A_I - A_{II} - A_{III} - A_{IV} - A_V - A_{VI}$ , соответствующих шести стадиям геологоразведочного процесса: I — составление прогнозных карт масштабов  $1 : 1\,500\,000 - 1 : 1\,000\,000$ , II — то же, масштабов  $1 : 1\,000\,000 - 1 : 500\,000$ , III — то же, масштаба  $1 : 200\,000$  и ревизионно-поисковые работы в масштабе  $1 : 50\,000$ , V — поисково-оценочные работы, VI — предварительная разведка.

Для каждой стадии характерен свой комплекс методов и видов работ, направленных на решение задач этой стадии: IA — палеотектонический анализ территории, IB — структурно-формационный анализ с геологической интерпретацией данных региональных геофизических исследований, IB — металлогенический анализ территории, IIA — структурно-формационный анализ с геологической интерпретацией данных региональных гравиметрических, магнитометрических

и сейсморазведочных исследований, ИБ — дешифрирование материалов космических и аэровысотных съемок, ИВ — разбраковка проявлений рудной минерализации с определением их положения в вулканогенных и плутоногенных формациях, IIIА — структурный и фациально-формационный анализ площадей развития ППФ с использованием гравиметрических, магнитометрических и сейсморазведочных данных, ИИБ — дешифрирование аэрофотоматериалов, ИИВ — металлогенический анализ, ИИГ — анализ данных шлихо-минералогических и шлиховых минералого-геохимических методов поисков, ИИД — анализ результатов геохимических поисков в масштабе 1 : 200 000, рекогносцировочных и ревизионных геохимических исследований, ИИЕ — анализ данных аэрогаммаспектрометрии, ИИЖ — анализ результатов аэрозондировочных работ, IVA — геологическое картирование, IVB — детализация шлиховых ореолов, IVB — геохимические поиски, IVГ — детализационные магнитометрические работы, IVД — электрозвездка методом ВП, VA — комплекс детализационных работ, VIA — разбуривание в сочетании с другими методами работ.

Региональный прогноз, выполняемый на стадиях I и II, базируется на выявлении комплекса палеотектонических, формационных, петрологических и структурных признаков в сочетании со специальным металлогеническим анализом. На этих отрезках процесса следует выявить потенциально рудоносные геологические сообщества разного ранга (провинции, зоны, подзоны). Для решения этих задач на стадии I требуется установить палеотектоническую позицию вулканоплутонического пояса в латерально-временных рядах геоструктур, выделенных на схеме (см. рис. 24), как соответствующие признаки: Ia — внутренняя зона островной дуги (B3) — вулканоплутонический пояс (ВПП) — тыловой прогиб (ТП) — область ранней стабилизации (ОС) в периокеанических геоструктурах андского типа; Ib — B3 — срединный массив (СМ) — ТП—ВПП—ОС в периокеанических геоструктурах восточноазиатского типа; Ic — ортогеосинклиналь (ОГ) — парагеосинклиналь (ПГ) — ВПП—ТП—ОС во внутриконтинентальных геоструктурах казахстанского типа; Id — B3—ВПП барьерной зоны — фронтальный прогиб (ФП) в островодужных структурах. На этой же стадии подлежат установлению магматические признаки (2а — в краевых ВПП сообщество базальт-андезит-липаритовой группы андезитовидных вулканогенных формаций с плутонитами габбро-диорит-гранитной группы К, К-Na, Na типов известково-щелочной, субщелочной и щелочной серий; 2б — в ВПП барьерных зон сообщество базальтоидных вулканогенных формаций Na серии (базальтовой, контрастной, непрерывной, базальт-андезит-базальтовой) и плутонитов (габбро-диоритовой ± плагиогранитной формации); а также проявления Cu, Cu-Mo, Pb-Zn, Cu-As, S минерализации в ВПП и его раме (признак 3, см. рис. 24).

Работы стадии II должны обеспечивать установление следующих групп признаков:

1) формационных признаков продуктивных вулканоплутонических ассоциаций (ПВПА), отвечающих сочетаниям формаций: 4а — дацит-липаритовой вулканогенной и диорит(монзонит)-гранодиорит-гранитной плутоногенной К ряда известково-щелочной серии в эпикра-

тонных частях ВПП; 4б — андезит-дацит-липаритовой, дацитовой, дацит-липаритовой вулканогенной и диорит-гранодиорит-монцонитовой, диорит-гранодиоритовой плутоногенных Na-K ряда известково-щелочной серии в эпимиогеосинклинальных частях ВПП; 4в — андезит-дацитовой, андезит-риодацитовой вулканогенных и габбро-диорит-гранодиоритовой плутоногенной K-Na ряда известково-щелочной серии в эпизгеосинклинальных частях ВПП; 4г — базальт-андезит-базальтовой вулканогенной и габбро-диоритовой плутоногенной формации Na ряда в барьерных зонах островодужных структур;

2) формационной принадлежности плутонитов: 5а — диорит (монцонит)-гранодиорит-гранитные формации K ряда в эпикратонной обстановке; 5б — диорит-гранодиорит-монцонитовые, диорит-гранодиоритовые формации Na-K ряда в эпимиогеосинклинальной обстановке; 5в — габбро-диорит-гранодиоритовые формации K-Na ряда в эпизгеосинклинальной обстановке; 5г — габбро-диоритовые (плагиогранитные) формации Na ряда в барьерных зонах островодужных геоструктур.

Кроме того, возможно выявление следующих дополнительных признаков:

1) поперечных и диагональных структур, осложняющих конфигурацию ВПП (6);

2) относительно приподнятых блоков ВПП (7);

3) проявлений S, Cu, Mo-Cu, Cu-Mo, Mo, Cu-As, Pb-Zn минерализации в различных составляющих ВПА (8).

Среднемасштабный прогноз и геологические съемки (стадия III) для выявления потенциальных рудных районов и узлов используют признаки, следующие из элементов меднопорфировых систем, а также признаки, косвенно отражающие эти элементы. В комплекс таких признаков входят следующие (см. рис. 24): 9 — многофазные плутоны либо поля развития порфировых фаз; 10 — локальные устойчивые палеоподнятия; 11 — сочетания кольцевых (дуговых) и линейных структур; 12 — проявления Cu, Mo-Cu, Mo, Cu-Mo, Cu-As, Pb-Zn, S минерализации в плутонитах и их раме; 13 — шлиховые минералого-геохимические аномалии; 14 — комплексные ореолы и геохимические аномалии Cu, Mo, Pb, Zn, Au, Ag, As в плутонитах, их раме и потоках рассеяния; 15 — аномалии аэрогаммаспектрометрии; 16 — аэроэлектроразведочные аномалии.

Поисковые (стадия IV) и поисково-оценочные (стадия V) работы имеют своей конечной целью обнаружение потенциальных рудных полей и перспективных участков в их пределах. Комплекс признаков, отвечающих этим объектам поисков, определяется строением внешних, внутренних и центральных зон меднопорфировых систем и их элементами, рассмотренными выше. Соответственно для обнаружения и опознания внешних частей систем требуется выявление комплекса признаков 17—31 (см. рис. 24): 17 — порфировые фазы; 18 — брекчиевые тела трубчатой формы, обладающие значительными размерами; 19 — прожилково-вкрапленная и жильная минерализация; 20 — зоны пиритизации; 21 — люционит-энаргитовая минерализация; 22 — Cu — турмалиновая и кварцтурмалиновая минерализация; 23 — первичные и вторичные геохимические ореолы и аномалии, от-

вечающие конечным членам ряда W—Be—Sn—Mo—Cu(Bi)—Pb, Zn—Au, Ag—As, Sb; 24 — пропилитизация; 25 — аргиллизация; 26 — алунитизация; 27 — серная минерализация с марказитом; 28 — скарирование; 29 — скарновые залежи Cu—Pb—Zn и медно-магнетитовых руд; 30 — аномалии ВП и естественного поля (ЕП); 31 — магнитометрические аномалии.

Центральные (ядерные) части систем определяются комплексом признаков 32—34 (см. рис. 24): 32 — кварцевые и кварц-полевошпатовые тела; 33 — рассеянная и вкрапленная минерализация Cu и W в ассоциациях с Mo; 34 — первичные и вторичные геохимические ореолы и аномалии, отвечающие началу ряда W—Be—Sn—Mo—Cu(Bi)—Pb, Zn—Au, Ag—As, Sb.

Для расшифровки позиции внутренних зон систем требуется установить комплекс признаков 35—44, в том числе: 35 — порфировые интрузивы; 36 — тела брекчий, часто дайкообразной формы, валунчатые дайки; 37 — калишпатизация + (биотитизация); 38 — ангидритизация; 39 — продукты гипергенеза сульфидоносных зон (кэпинг); 40 — первичные и вторичные геохимические ореолы и аномалии, отвечающие середине ряда W—Be—Sn—Mo—Cu(Bi)—Pb, Zn—Au, Ag—As, Sb; 41 — аномалии ВП, совпадающие с геохимическими аномалиями; 42 — окварцевание + серицитизация + (хлоритизация); 43 — проявление вкрапленной и прожилково-вкрапленной Cu, Mo—Cu, Cu—Mo, Mo минерализации; 44 — значительные масштабы оруденелых зон.

Задачи предварительной разведки (стадия VI) могут быть решены лишь при условии соответствия выявленных рудных тел промышленным требованиям (признак 45, см. рис. 24).

Принятое в схеме достаточно условное разделение работ по выявлению центральных и внешних зон и работ по обнаружению внутренних (рудноносных) зон по существу отвечают возможным вариантам «попадания» при поисках в существенно различные части систем. Очевидно, что в реальных условиях общие поиски, приведшие к обнаружению внешних или центральных зон, требуют постановки более детальных работ на участках возможного нахождения внутренних зон. Упомянутое разделение как раз и отражает необходимость постановки работ последующей стадии. Очевидно, что обнаружение внутренних зон при общих поисках также требует перехода к более детальной стадии, реализуемой в самостоятельных проектах.

Сокращенные варианты прогнозно-поискового комплекса. Схема прогнозно-поискового комплекса предусматривает десять сокращенных вариантов выполнения работ. Они существенно ускоряют достижение целей поисков, что обеспечивается высокой эффективностью тех или иных методов и признаков, высокой информативностью некоторых из них в определенных обстановках. Это позволяет на ранних стадиях работ выявлять объекты, находящиеся на дальних ступенях общей последовательности и подлежащие обнаружению на последующих стадиях. Сокращенные варианты обеспечивают ускорение реализации прогнозно-поисковых работ вследствие обоснованного исключения «избыточных» методов и видов исследований. Если полный вариант комплекса предусматривает решение ми-

нимально необходимого числа задач, обеспечивающих достижение целей каждой данной стадии, то сокращенные варианты учитывают возможность достижения максимальных результатов вследствие одновременного решения задач последующих стадий.

Для обоснования сокращенных вариантов используется табл. 5, в которой проанализированы возможности опознания того или иного объекта поисков теми или иными признаками или их комплексом. Подобный анализ выполнен и в отношении возможностей выявления признаков определенными поисковыми методами (табл. 6).

Система «метод—признак—объект», прослеживаемая из стадии в стадию с учетом упомянутых возможностей опознания, приводит к выделению и обоснованию десяти сокращенных вариантов.

Рассмотрение всех вариантов представляется излишним, поскольку они приведены на схеме (см. рис. 24). В качестве примера охарактеризуем некоторые из них.

*Вариант 1* отражает следующую последовательность постановки стадий, методов и выявления признаков (II—12—IIIА—IIIД—9+14—A<sub>IV</sub> с исключением методов Б, В, Г, Е, Ж стадии III). Обнаружение на стадии II проявлений медной, молибденово-медной, медно-мышьяковой, свинцово-цинковой минерализации в плутонитах и их раме (в обстановках, сходных с меднопорфировыми системами) позволяет в дальнейшем использовать лишь часть методов стадии III, а именно IIIА и IIIД. Соответственно структурный и фациально-формационный анализы в сочетании с интерпретацией данных геохимических исследований позволяют установить многофазные плутоны и комплексные геохимические ореолы и аномалии, которые отвечают части признаков меднопорфировых систем. Это обеспечивает переход к работам стадии IV.

*Вариант 5* (IIВ—43—A<sub>V</sub> с исключением III и IV) может быть использован с риском получения неопределенных или негативных решений. Установление методом вызванной поляризации проявлений вкрапленной и прожилково-вкрапленной медной и молибденово-медной минерализации может быть основанием для постановки комплекса методов A<sub>V</sub>, однако успех работ обеспечивается лишь при обнаружении и других признаков. Поскольку последние могут отсутствовать вследствие иной природы проявлений минерализации, работы по данному варианту не обеспечивают однозначного решения задач стадии V.

*Вариант 6* (IIIБ—39—IVA—35+37+42+43—A<sub>V</sub> с исключением ряда методов стадий III и IV) основан на возможности обнаружения зон «кэпинга» (39) при дешифрировании цветных аэрофотоснимков на стадии III. Этот высокоинформативный признак, присутствующий не во всех обстановках, для установления рудоносных зон требует выявления дополнительных признаков внутренних зон меднопорфировых систем. Данная задача решается возвратом к началу стадии IV и постановкой геологического картирования (IVA), которое в случае успеха позволяет выполнить работы стадии V. Этот вариант может получить продолжение по варианту 9, который учитывает ситуацию, возникающую при обнаружении четырех важнейших признаков внутренних зон меднопорфировых систем (35, 37, 42, 43).

Схема опознаваемости объектов прогноза, поисков и оценки меднопорфирового оруденения различными признаками

Стадия	Объекты поисков (металлогенические категории)	Признаки																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	МП— (ВПП)	К	К	К																					
II а	МЗ— (ПВПА)				П																				
II б	МПз (ППФ)					К	С	С	К																
III	ПРР и РУ (ГМПС)								К	С	С	К	С	К	С	С									
IV	ПРП (ПМПС)																	С	С	К	К	С	С	К	К
V	ПУ (ВЗМПС)																								
VI	РТ (РЗМПС)																								

Продолжение табл. 5

Стадия	Объекты поисков (металлогенические категории)	Признаки																							
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45			
I	МП— (ВПП)																								
II а	МЗ— (ПВПА)																								
II б	МПз (ППФ)																								
III	ПРР и РУ (ГМПС)																								
IV	ПРП (ПМПС)	С	С	С	С	С	К	С	К	С	К														
V	ПУ, (ВЗМПС)											К	С	К	С	С	К	К	К	К	К	К			
VI	РТ (РЗМПС)																							П	

Примечания. I. Опознаваемость объектов: П — одним признаком; К — комплексом признаков; С — комплексом признаков в специфических обстановках.

2. В этой и следующей таблицах полужирным шрифтом выделены основные признаки, светлым — дополнительные.

Таблица 6

Схема опознаваемости признаков меднопорфирового оруденения различными видами и методами работ

Стадия	Виды и методы работ	Признаки																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
I	IA	X																						
	IB	X																						
	IV			o																				
II	IIA				o	o	M	M																
	IIБ						M	M				Б	Б											
	IIВ								o				Б											
III	IIIA									o	O													
	IIIB											O						Б	Б					
	IIIB											o								Б		Б	Б	
	IIIG												O							Б	Б	Б	Б	
	IIID														o									Б
	IIIE															O								
IIIЖ																O				Б				
IV	IVA																	O	O	o	o	O	O	
	IVБ																			X	X			
	IVB																							o
	IVГ																	M						
	IVД																			X	X			
V	VA																							
VI	VIA																							

Стадия	Виды и методы работ	Признаки																							
		24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45		
I	IA																								
	IB																								
	IV																								
II	IIA																								
	IIБ																								
	IIВ																					Б			
III	IIIA																								
	IIIB												Б				Б								
	IIIV				Б		Б				Б														
	IIIG						Б				Б														
	IIID											Б						Б							
	IIIE										Б				Б					Б					
	IIIJ								Б																
IV	IVA	о	О	О	О	М	М				о	М		Б	Б	Б	Б	Б			Б	Б			
	IVБ					М	М					М													
	IVB											о						Б							
	IVГ						М		о																
	IVД							о											Б						
V	VA												о	О	о	О	О	о	о	о	о	о			
VI	VIA																					о			

Примечание. Опознаваемость признаков: а) в любых обстановках: о — одним методом; X — в комплексе с другими методами; б) в специфических обстановках; О — одним методом; М — в комплексе с другими методами; Б — в благоприятных обстановках одним методом.

*Вариант 10* (IVB+IVД—40+41—A<sub>v</sub> с исключением методов А, Б, Г стадии IV) базируется на высокой эффективности геохимических методов (IVB) и электроразведочных работ (IVД). Эти методы при постановке на обоснованно выбранных участках потенциальных рудных районов обеспечивают в случае перекрытия в пространстве соответствующих аномалий выявление площадей, требующих проведения детализационных работ. Вариант 10 отвечает наиболее распространенным случаям обнаружения рудных тел и меднопорфировых месторождений, как это следует из рассмотренного выше опыта поисков.

На каждом из отрезков основного и сокращенных вариантов комплекса возможно получение трех вариантов решения задач соответствующих стадий: позитивного (обнаружение объекта поисков), негативного (отсутствие объекта поисков на исследуемой части площади) и неопределенного (недостаток информации для решения задач стадии). Ситуации первого варианта отражены на схеме комплекса и частично проанализированы выше. Второй вариант требует прекращения работ на данной части площади. Третий вариант вызывает необходимость возврата к началу предшествующей стадии с критической оценкой качества выполненных работ либо дополнением ее новыми методами, постановка которых обеспечивает получение однозначных результатов. Необходимо подчеркнуть, что прекращение работ при получении неопределенных решений может быть причиной неоправданных неоднократных возвратов с работами на одни и те же площади, что негативно влияет на эффективность поисков. В рамках каждого конкретного проекта требуется постановка методов работ, обеспечивающих выявление объектов поиска соответствующих стадий или обоснование их отсутствия на исследуемой площади. Решение задачи детальных поисков — выделение участков проведения поисково-оценочных работ — обеспечивается постановкой охарактеризованных видов и методов работ. В практике геологоразведочных работ детальные поиски нередко непосредственно переходят в оценочные работы.

Для установления масштабов обнаруженных объектов решающее значение имеет определение их принадлежности к конформной или дисконформной группе еще при детальных поисках. Эта задача решается определением по буровым скважинам внутренних и внешних (если они имеются) ограничений рудных тел и их положения относительно поверхностей контактов порфировых интрузивов. Для конформной группы рудных тел морфологический тип может быть установлен по данным двух взаимно перпендикулярных профилей скважин, обеспечивающих необходимую информацию для оценки запасов по приведенным выше формулам объемов минерализованных зон. Более сложный случай представляют рудные тела дисконформной группы, где пока трудно установить ярко выраженные геологические факторы, влияющие на положение границ минерализованных зон.

Существенное значение для достоверности оценки масштабов выявленных объектов имеют доказательства сплошности оруденения. В рудных телах конформной группы изоконцентрации меди, как

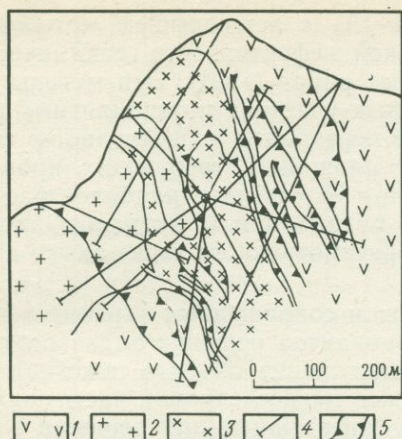


Рис. 25. Геологический разрез через месторождение Кэтфэйс (Канада). По Дж. Макдуггалу с упрощениями.

1 — андезиты и андезито-базальты пермотриаса; 2 — кварцевые монзониты; 3 — третичные кварцевые диоритовые порфириты; 4 — скважины; 5 — контуры минерализованных зон (по содержанию Си 0,3 %).

правило, ориентированы субпараллельно поверхности порфирового интрузива, что требует учета при увязке единичных рудных интервалов и определении пространственной ориентировки вскрытых скважинами минерализованных зон. Механическая увязка интервалов с близкими содержаниями со скважинами на скважину нередко приводит к завышению масштабов объектов. Нередки случаи, когда субъективно принятые варианты пологого расположения минерализованных зон опровергались при уплотнении сети скважин, вскрывающих принципиально иную ситуацию — серию маломощных субвертикальных рудоносных зон, обладающих существенно меньшими запасами.

Наиболее надежную информацию обеспечивает проходка наклонных или перекрывающихся в пространстве скважин, что широко используется в зарубежной практике для определения степеней сплошности оруденения и ориентировки минерализованных зон (рис. 25). Необходимо также подчеркнуть, что уже при оценочных работах целесообразна проходка отдельных скважин до глубины 1000 м, это особенно важно для дисконформных рудных тел. Единичные глубокие скважины обеспечивают (кроме решения морфологических задач) оценку вертикального размаха оруденения и выявление возможных нижних его этажей.

Для поисково-оценочных работ, особенно для условий мало освоенных районов, существенное значение имеют геолого-экономические оценки. В этом отношении важное значение имеют методические разработки В. К. Павлова, В. В. Поспеева и В. Л. Давыдова (ВИЭМС) по месторождениям штокверкового типа. В частности, для нормализованных географо-экономических и горнотехнических условий нахождения меднопорфировых месторождений обоснованы следующие оценочные кондиции.

Запасы руды, млн. т	10	30	50	100	185	250	600
Содержания меди в недрах, %	0,98	0,78	0,64	0,52	0,43	0,41	0,38

Для оценки конкретных объектов в указанные нормализованные данные необходимо ввести поправки на: 1) географо-экономические условия их нахождения (в частности, для южной части Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии поправочный коэффициент колеблется в пределах 1,1—1,4, для южной части Восточной Сибири и Дальнего Востока 1,2—1,8); 2) ценность попутных компонентов (в первую очередь молибдена и благородных металлов путем перевода их в «условную медь»); 3) величину коэффициентов вскрыши и рудоносности (в нормализованных данных эти коэффициенты были приняты равными 0,7 и 0,7—0,8 соответственно).

В заключение следует подчеркнуть ряд специфических черт меднопорфировых месторождений, влияющих на эффективность их поисков, особенно в новых районах. Прежде всего это чрезвычайная невыразительность самих меднопорфировых руд, облик которых далеко не всегда отождествляется с устоявшимся восприятием понятия «руда» как нечто, существенно отличное от породы. Широкие масштабы развития минерализации, практически несопоставимые ни с какими другими сульфидными месторождениями, также создают определенные сложности для восприятия подобных зон, особенно при интенсивных гипергенных изменениях, в качестве рудных месторождений. Слабая выраженность рудных зон на поверхности — развитие пятнистого и гнездового ожелезнения низкой интенсивности при отсутствии сульфидов — нередко является причиной отсутствия необходимого поискового внимания.

Отмеченные субъективные факторы подлежат учету при поисках в новых районах страны. В тех регионах СССР, где меднопорфировые месторождения известны давно, подобные сложности отсутствуют. Предложенный в данном разделе прогностико-поисковый комплекс базируется на опыте работ именно в таких регионах. Его применение в новых провинциях обеспечивает достижение должной эффективности работ.

## Глава V

### ПОИСКИ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

##### Типы колчеданосных провинций и колчеданосные формации

Медноколчеданные и цинково-медноколчеданные месторождения принадлежат к колчеданному семейству, представители которого в зависимости от типа провинций обладают широким спектром состава руд — от маломедистых (с кобальтом) пиритовых через медные и цинково-медные до медно-цинково-свинцовых (колчеданно-полиме-

таллических). Все месторождения семейства принадлежат к продуктам раннегеосинклинальной металлогении и находятся в тесных пространственно-временных связях с определенными вулканогенными, осадочно-вулканогенными и вулканогенно-осадочными формациями.

Залежи колчеданных руд возникли на всем протяжении истории Земли, от архея до современного этапа, при отчетливо выраженной связи с раннегеосинклинальным базальтоидным вулканизмом как в фанерозойских подвижных поясах, так и в вулканогенных («зеленокаменных») трогах на древних щитах. Тесная связь колчеданного оруденения с раннегеосинклинальным вулканизмом, обоснованная работами А. Н. Заварицкого, В. И. Смирнова, Г. Н. Щербы и других отечественных и зарубежных исследователей, определяет главные закономерности размещения, условия локализации, морфологию, состав рудных тел и весь комплекс других геологических критериев, которые составляют основы прогноза и поисков месторождений колчеданного семейства.

Типизация колчеданосных провинций базируется на комплексе соподчиненных характеристик [9, 33], включающих палеовулканическую и геотектоническую позиции провинций, их формационное выполнение, состав колчеданосных отложений и геохимическую специализацию руд. С учетом этого выделяются три группы провинций: с существенно вулканогенным, существенно терригенным и терригенно-карбонатным выполнением. Господство цинково-медноколчеданных и медноколчеданных месторождений характерно для провинций кипрского, уральского и малокавказского типов. В подчиненном значении месторождения медноколчеданных руд расположены в провинциях рудноалтайского и филизчайского типов.

Существенные различия в составе земной коры и режиме развития выделенных типов колчеданосных провинций находят яркое отражение в формационных и фациальных характеристиках вулканогенных образований, с которыми связано колчеданное оруденение.

Как показали исследования М. Б. Бородаевской, А. И. Кривцова, Е. П. Ширая [2, 3, 12, 33], Т. И. Фроловой, Д. С. Штейнберга и других исследователей, раннегеосинклинальные вулканогенные формации колчеданосных провинций принадлежат к щелочноземельному ряду. Среди них выделяются три серии, различающиеся по соотношению  $\text{Na}_2\text{O}$  к  $\text{K}_2\text{O}$  и содержанию последнего: натриевая (базальты с  $\text{K}_2\text{O} < 0,5\%$ ; липариты  $\text{K}_2\text{O}$  0,6—1 %); калиево-натриевая (базальты  $\text{K}_2\text{O}$  0,6—1 %, липариты  $\text{K}_2\text{O}$  1—2 %); натриево-калиевая (базальты  $\text{K}_2\text{O}$  1—2 %, липариты  $\text{K}_2\text{O}$  2 %), каждая из которых характерна для провинций, занимающих вполне определенные палеотектонические позиции.

Медноколчеданные залежи широко распространены в провинциях кипрского и уральского типов и закономерно приурочены к геосинклинальным прогибам, развивавшимся на коре океанического типа (существенно базальтового состава). Оруденение здесь тесно связано с вулканитами натриевой серии, которые, вследствие наращивания континентальной коры на завершающих стадиях развития продуктивного вулканизма, обогащаются калием с появлением разновидностей, переходящих к калиево-натриевым сериям.

Широкое развитие вулканитов калиево-натриевой серии характерно для геоструктур, заложенных на коре смешанного или переходного типа (малокавказский тип), а натриево-калиевые серии присущи геосинклинальным структурам, развитым на коре континентального типа (рудноалтайский тип).

Полный ряд вулканогенных образований натриевой серии эвгеосинклиналей, развитых на базитовой коре, наиболее детально изучен на примере Урала. Эта серия включает последовательно возникающие формации: базальтовую однородную, контрастную липарит-базальтовую, непрерывную базальт-дацит-липаритовую, базальт-андезит-базальтовую; продуктивными на колчеданные руды являются контрастная и непрерывная. Породы однородной формации, представленные афировыми лавовыми фациями с прослоями гиалокластитов и кремнистых осадков, представляют в основном продукты глубоководных трещинных излияний. По химическому составу они близки океаническим толеитам, отличаясь от них несколько повышенным содержанием суммы щелочей и более низким содержанием магния и кальция при повышенной окисленности железа.

Липарит-базальтовая контрастная формация содержит в своем объеме от 3 до 30 % липаритов. Базальты, представленные преимущественно афировыми разностями, образуют мощные толщи, фациальный облик которых меняется во времени и по латерали. Наибольшие объемы базальтоидов сформированы трещинными излияниями в субмаринных условиях. По химическому составу породы относятся к умеренно или повышенно глиноземистым базальтам и андезитобазальтам с малой вариационностью породообразующих окислов. Кислые составляющие формации (липариты и липарито-дациты) слагают изолированные вулканы центрального типа, поля лавовых потоков и эксплозивных выбросов, многочисленны неки, купола и субвулканические тела. Эти породы характеризуются относительно низкими содержаниями кремнезема и отсутствием ярко выраженных корреляционных связей между основными породообразующими окислами.

Непрерывные формации отличаются большим непостоянством соотношений отдельных составляющих. Полные ряды (базальты—андезиты—дациты—липариты) наблюдаются относительно редко; чаще разрез начинается с андезит-дацитов, а главный объем вулканитов представлен породами ряда дациты—липариты. Для формации в целом характерны очень высокий коэффициент эксплозивности (70 % и более) и широкое развитие вулканизма центрального типа, обусловившее большую пестроту фаций пирокластов с ювенильными и резurgentными обломками, а также обилием субвулканических тел, неков, трубок взрыва и т. п. Химизм пород формации определяется ясно выраженными корреляционными связями породообразующих окислов при определенной неустойчивости составов одноименных пород, развитых в различных структурно-формационных зонах и провинциях, что связывается со сложной цепью процессов взаимодействия мантийных расплавов с коровым материалом.

Базальт-андезит-базальтовая формация характерна для островных условий с преобладанием центрального типа вулканизма и весьма

высоким коэффициентом эксплозивности (до 75 % и более). Широко развиты пирокластические фации с разнообразным набором ювенильных и резургентных обломков. Лавовые фации, многочисленные неки и субвулканические тела обладают ярко выраженным порфиrowым сложением. По химическому составу породы формации соответствуют базальт-андезит-базальтам умеренной и повышенной глиноземистости.

На примере Урала установлено, что становление однородных базальтов, открывающих раннегеосинклиальный вулканизм, происходило в океаническую стадию развития региона при ведущем значении подводных излияний. По мере смены океанических условий предостровными однородные базальты сменялись излияниями базальтоидов контрастной формации, которые, накапливаясь, образовывали вулканогенные гряды, поднятия, щитовые вулканы и отдельные постройки центрального типа. Кислые составляющие формации, представленные дацит-липаритами и липаритами, приуроченные главным образом к завершающим этапам становления формации, размещены на расчлененном вулканическом рельефе базальтоидов и представлены в основном отдельными вулканическими постройками или их непротяженными грядами, расположенными в различного рода депрессионных структурах базальтового ложа. Собственно островные условия характеризовались центральным вулканизмом, проявленным в одних структурно-формационных зонах непрерывными базальт-андезит-дацит-липаритовыми, в других — базальт-андезит-базальтовыми формациями.

Вулканогенные формации в провинциях кипрского типа также принадлежат к натриевым сериям. Господствующее распространение имеют здесь однородные базальты и базальты контрастной формации, отличающейся от вулканитов соответствующей формации в провинциях уральского типа менее значительным объемом кислых составляющих, которые во многих рудных районах представлены образованиями субвулканической фации. В завершение раннегеосинклиального вулканизма появляется базальт-андезит-базальтовая формация, в составе которой часты фации, свидетельствующие об островном режиме накопления.

Вулканогенные формации калиево-натриевой серии характерны для малокавказского и алтайского типов провинций. Однородная базальтовая формация в этих условиях отсутствует или проявлена в локальных зонах. Широко развиты вулканиты андезитового состава, входящие в состав непрерывных и андезит-базальтовых формаций. В разрезах контрастной и непрерывной формации господствуют кислые составляющие при широком развитии в ряде районов вулканоплутонических ассоциаций. Контрастные формации в этом типе рудных провинций представлены базальт-липаритовыми сериями (Рудный Алтай), в составе которых базальты играют лишь незначительную роль. Типичен центральный тип вулканизма с высоким коэффициентом эксплозивности и обилием субвулканических тел. Геосинклиальный вулканизм обычно открывается контрастной или непрерывной формацией, вулканиты которой нередко залегают непосредственно на стабилизированном основании и перекрываются породами ан-

дезит-базальтового состава, завершающими собственно геосинклинальный вулканизм.

Вулканогенные формации натриево-калиевой серии характерны для провинций со свинцово-цинковым профилем оруденения.

Раннегеосинклинальный вулканизм в провинциях филизчайского типа проявлен в незначительном объеме, в виде излияний базальтоидов натриевой серии, образующих отдельные потоки или их пачки во флишоидных толщах. Еще менее распространены вулканиты кислого состава. Более поздним проявлениям магматизма отвечают пестрые серии даек и малых интрузий. Основной объем разрезов колчеданосных провинций этого типа занимают флишоидные образования.

### **Типы колчеданосных зон, рудных районов и рудных полей**

Закономерности размещения медноколчеданных месторождений внутри провинций определяются в первую очередь их приуроченностью к определенным структурно-формационным зонам, в пределах которых локализованы продуктивные вулканогенные формации (контрастная и непрерывная).

Наиболее полно особенности положения и строения этих зон изучены на примере Урала (рис. 26). Здесь установлены три главных цикла проявлений базальтоидного вулканизма натриевой серии: среднеордовикско-венлокский, верхнесилурийско-среднедевонский, верхнесилурийско-франский. Каждому из перечисленных циклов соответствует эвгеосинклинальная зона автономного развития (Тагило-Медногорская, Западно-Магнитогорская, Восточно-Магнитогорская), представлявшая собой сложнопостроенную систему палеоостровной дуги. При этом устанавливается отмирание и последовательное приращение к континенту островных дуг, обращенных в сторону морского бассейна (в данном случае с запада на восток), как это в целом характерно для островодужных окраинно-континентальных систем.

На ранних стадиях развития эти частные эвгеосинклинали представляли рифтовидные прогибы, подчиненные долгоживущим разломам глубокого заложения. На средних и завершающих стадиях на месте этих прогибов возникли структурно-формационные зоны с разным режимом развития, последовательно сменяющие друг друга в направлении континент—океан: тыльная зона ранней стабилизации (моноформационная, выполненная однородными базальтами); внутренняя зона полного развития (полиформационная, содержащая проявления вулканизма всех четырех вулканогенных формаций, характерных для данного типа провинций); барьерная зона (биформационная, с вулканитами однородной базальтовой и базальт-андезит-базальтовой формаций); фронтальный прогиб или внешняя зона, отделившая эвгеосинклиналь от невовлеченного в тектоно-магматические процессы данного этапа основания. Эта последовательность зон, независимо от времени их становления, с большими или меньшими усложнениями проявлена во всех достаточно полно изученных колчеданосных эвгеосинклиналах как уральского, так и малокавказского типа [9].

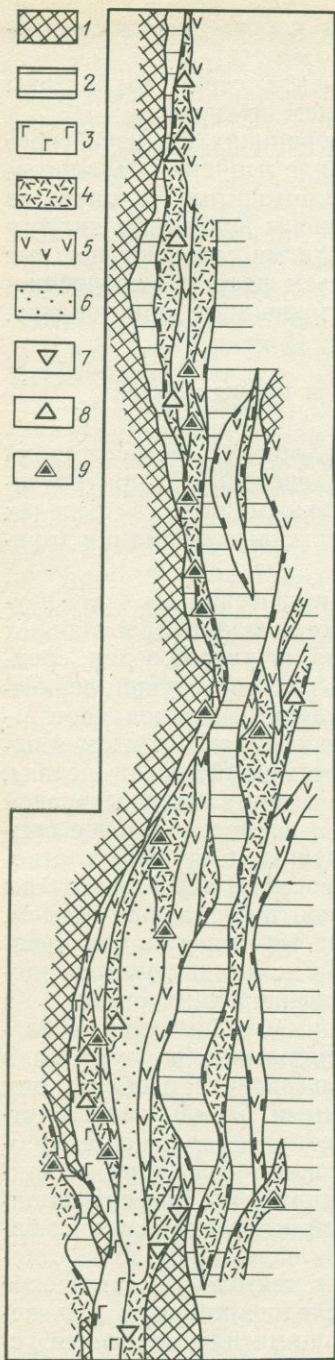


Рис. 26. Размещение колчеданосных районов различных типов на Урале.

1 — выступы докембрия; 2 — нижнепалеозойское основание эвгеосинклинальных зон; 3 — 5 — раннегеосинклинальные вулканогенные формации натровой серии базальтоидного магматизма (3 — недифференцированная базальтовая, 4 — колчеданосная нерасчлененная, 5 — базальт-андезит-базальтовая); 6 — постраннегеосинклинальные геологические формации; 7—9 — типы месторождений, характерные для рудных районов (7 — домбаровский, 8 — учалинско-сибирский, 9 — верхнеуральский)

Соответственно с развитием продуктивных вулканогенных формаций в составе названных зон колчеданное оруденение сосредоточено в основном во внутренних и отчасти во внешних зонах островных дуг, где наиболее полно развиты вулканы продуктивных формаций; в тыльных зонах оно проявлено лишь в отдельных блоках, в которых был развит продуктивный вулканизм.

В рифтовых прогибах залежи колчеданных руд приурочены преимущественно к блокам, в которых получили развитие вулканы контрастной формации.

В провинциях филизчайского типа на примере Большого Кавказа Н. К. Курбановым показано, что в размещении существенно медистых и колчеданно-полиметаллических руд существует отчетливо проявленная зональность: медная специализация оказывается характерной для структурно-формационных зон, приближенных к глубинным разломам, по которым происходило поступление магматических (существенно базальтоидных) расплавов. Зоны с залежами колчеданно-полиметаллических руд, в которых медь играет роль попутного компонента, располагаются на удалении от указанных разломов.

Рассмотренная закономерность является важнейшей для мелко- и среднemasштабного прогнозирования и проведения общих поисков, позволяя локализовать поисковые работы на относительно небольших площадях, так как участки развития продуктивных вулканогенных формаций в целом ограничены. Так, на Урале

они составляют всего лишь 0,01 % от изученной площади этой провинции. При этом на площади развития продуктивных формаций

с установленной промышленной продуктивностью приходится 27 %, с признаками промышленной продуктивности 17 %, с невыясненной продуктивностью 56 %. Это определяет ведущее значение формационного анализа для прогнозирования и поисков медноколчеданных месторождений, который является основой для выделения продуктивных структурно-формационных зон, а в их пределах — полей развития продуктивных формаций, которые соответствуют потенциально рудоносным районам.

Типы рудных районов, расположенных в продуктивных структурно-формационных зонах, определяются сочетанием трех ведущих групп факторов: формационной принадлежностью и типом разрезов продуктивных вулканогенных формаций; особенностями первичных рудовмещающих и рудоконтролирующих структур; характером и интенсивностью преобразований рудовмещающих толщ и залежей колчеданных руд при последующих тектоно-магматических процессах.

*Особенности строения рудовмещающих разрезов и положение в них залежей колчеданных руд.* По характеру и строению продуктивных формаций для рудных районов ведущих медноколчеданных провинций выделяются следующие три типа перспективно рудоносных разрезов.

Разрезы домбаровского типа (тип А) характерны для районов, приуроченных к палеорифтовым зонам с преобладающим развитием основных базальтов однородной и контрастной формаций при ничтожно малой роли (доли процента) кислых составляющих. Разрезы имеют следующий вид (снизу вверх): 1) базальты однородной формации, представленные продуктами субмаринных излияний подушечных лав, долеритов, гналокластитами с кремнистыми прослоями; мощность толщи более 1 км; 2) переходная к контрастной формации толща, характеризующаяся пестротой фаций, включающая стекловатые мелкошаровые и капельные лавы, гналокластиты, плагиопорфиновые базальты, долериты, кремнистые породы, особенно широко развитые в верхах разреза; нередко присутствуют экструзивные купола липарит-дацитов и дацитов, сопровождаемые незначительным объемом пирокластического материала; мощность толщи около 500 м; 3) базальтоиды контрастной формации — долериты и базальты различного фациального облика мощностью 1—1,5 км и более.

Залежи колчеданных руд приурочены к переходной толще, расположенной на границе базальтов однородной и контрастной формаций, а также к близкой с ней по фациальной характеристике верхней толще разреза контрастной формации.

Разрезы учалинско-сибайского типа (тип Б) характерны для рудных районов, расположенных во внутренних и внешних зонах палеоостровных дуг. Вулканыты контрастной формации залегают здесь на однородных базальтах. Кислые составляющие присутствуют в небольшом количестве, залегают внутри разреза базальтоидов, но в целом тяготеют к верхним его частям. Разрез кислых вулканитов, как показывает сопоставление данных по ряду районов, в каждом случае характеризуется специфическими особенностями. Общими чертами является участие в его строении лавовых и пирокла-

стических фаций, отвечающих отдельным фазам вулканической деятельности, формирующим толщи, мощностью от первых сотен метров до 1 км, сложенные лавовыми куполами и продуктами их разрушения, чередующимися с потоками лав и слоями пирокластических выбросов. Границы вулканитов, принадлежащих к различным фазам извержений, нередко отмечены горизонтами перемытых пород. В некоторых случаях к ним приурочены отдельные потоки базальтоидов. Наиболее ярко проявлен размыв в верхней части разреза кислых вулканитов, на границе с перекрывающими толщами базальтов. Пачки слоистых пород представлены ритмично чередующимися вулканомиктами, кремнистыми осадками, пирокластами.

По количественному соотношению кислых и основных пород, с которыми пространственно и во времени ассоциируют рудные залежи, выделяются два подтипа разрезов, в которых кислые породы: 1) играют весьма незначительную роль, будучи представленными маломощными (от первых десятков до сотен метров) пластами с отдельными раздувами мощностью до 300 м (учалинский подтип); 2) образуют крупные купола со стержневыми частями мощностью 1 км и более (сибайский подтип).

Положение залежей колчеданных руд в разрезах кислых вулканитов определяется их локализацией на одном или нескольких уровнях. Располагаясь на одном уровне, они представлены совокупностью пластовых тел, залегающих в слоистом горизонте верхней части разреза контрастной формации. Иногда залежи размещены в диапазоне почти от основания до кровли липаритовой толщи, представляя совокупность пластовых тел, как бы нанизанных на единый канал, ориентированный по нормали к напластованию. Общая мощность оруденелой части разреза составляет несколько сотен метров (Сибайское месторождение на Урале).

В некоторых рудных полях колчеданные залежи, приуроченные к верхней части разреза кислых вулканитов, образуют мощные компактные рудные тела. Так, на Учалинском месторождении рудное тело залегает в верхах разреза липарит-дацитов, образующих небольшую купольную постройку. Фланги залежи, представленные слоистыми рудами небольшой мощности, приурочены к пачкам вулканомиктовых пород, венчающих разрез кислых вулканитов, перекрываемых базальтоидами. Мощные раздувы рудного тела выполняют локальные депрессии, развитые на поверхности купола липарит-дацитов. Еще один уровень локализации оруденения, расположенный на несколько сотен метров ниже первого, совпадает с границей двух фаз липарит-дацитового вулканизма, отмеченной развитием прерывистых потоков базальтов.

Наконец, в ряде районов оруденение проявлено на трех уровнях — в верхней части разреза нижнего базальтового горизонта, в депрессионных структурах палеоповерхности базальтового горизонта и на границе залегающих выше него андезит-дацитов с перекрывающими их липарит-дацитами. Общая мощность рудовмещающей части разреза составляет от 150 до 500 м, иногда до 1000 м.

Разрезы верхнеуральского типа (тип В) характерны для рудных районов, расположенных во внутренних зонах палеоост-

роводужных систем. Продуктивность разрезов связана с вулканитами непрерывной формации, которые характеризуются значительным объемом кислых составляющих и разнообразием их фаций, что обусловлено неодинаковым числом фаз извержений при ярко выраженном центральном типе вулканизма.

Выделяются следующие подтипы разрезов, определяющие специфику размещения рудных залежей в районах рассматриваемой группы: а) разрез формации открывают базальты и андезит-базальты, выше которых, в пределах депрессионных структур различного типа (межгрядовые, кальдерообразные и др.), залегают умеренно кислые и кислые вулканиты, представленные продуктами извержений одной, двух или трех фаз, и б) умеренно кислые и кислые составляющие открывают разрез формации, залегая на базальтоидах контрастного типа, как бы наращивая их разрез.

В рассматриваемых районах известны два главных уровня оруденения. Верхний, имеющий наиболее региональное распространение, приурочен к пачкам слоистых пород, венчающих разрез кислых вулканитов, нижний, совпадающий с нижней границей мегафириловых липарит-дацитов, представлен неоднородной пачкой вулканогенно-осадочных пород, выполняющих локальные палеодепрессии в кровле толщи липарит-дацитов первой фазы вулканизма.

Детальное изучение разрезов ряда рудных районов с развитием продуктивной непрерывной формации показало, что при наличии определенных вариаций в последовательности и наборе продуктов извержений отдельных фаз общие закономерности, выражающиеся в размещении рудных тел на определенных уровнях разреза, характеризующих накопление вулканомиктовых и осадочных пород в периоды кратковременных затиший вулканической деятельности, выдерживаются с неизменным постоянством.

В целом анализ размещения залежей медноколчеданных руд в разрезах вулканитов как Урала, так и других провинций показывает, что рудообразование теснейшим образом связано с продуктивным вулканизмом, являясь его характерной составной частью. Интервалы разреза, в которых концентрируется оруденение, в целом отвечают потенциально рудоносным уровням, являющимся одним из важнейших критериев прогнозирования и поисков. Уровни локализации оруденения (рис. 27) во всех случаях приурочены к перерывам вулканической активности, отмеченным локальными накоплениями вулканогенно-осадочных пород и сменой фаций вулканитов. Существенную роль при этом играет наличие или отсутствие кислых составляющих и их объем, определяющие ведущие типы разрезов продуктивных формаций. При наличии в них кислых составляющих наблюдается многократная повторяемость рудообразования и вулканических извержений, что и определяет размещение рудных залежей на нескольких уровнях.

Наиболее широкое площадное развитие характеризует верхний уровень, совпадающий с прикровельными частями разреза кислых составляющих формации. Он вмещает многочисленные колчеданные залежи почти во всех известных рудных районах (см. рис. 27).

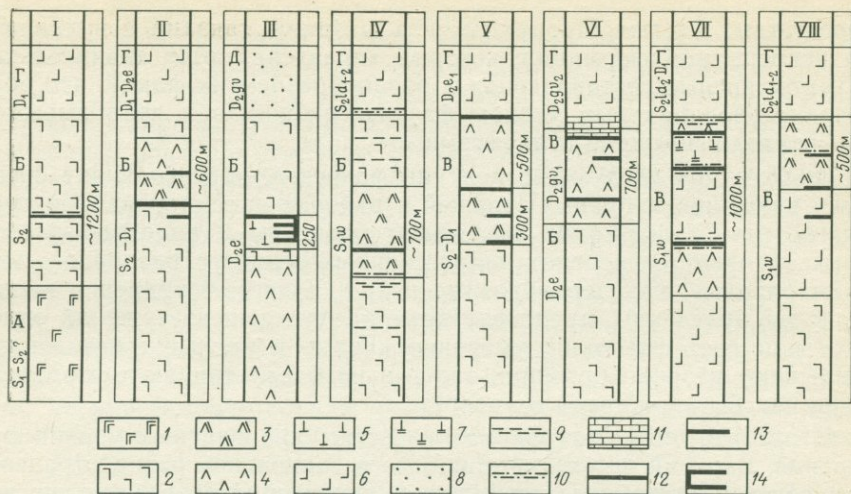


Рис. 27. Положение уровней локализации оруденения в разрезах вулканогенных формаций различных районов (I—VIII) Урала.

Формации: А — недифференцированная базальтовая; Б — контрастная базальт-липаритовая; В — непрерывная базальт-андезит-дацит-липаритовая; Д — вулканогенных молассоидов. Состав вулканогенных образований: 1—2 — базальтовые (1 — афировые базальты, 2 — базальты); 3 — андезит-дацитовый; 4 — дацитовый; 5 — липаритовый; 6 — андезит-базальтовый; 7 — липарит-дацитовый и липаритовый. Вулканогенно-осадочные и осадочные породы: 8 — вулканогенные молассы; 9 — яшмоиды; 10 — вулканомикты; 11 — известняки. Рудоконтролирующие уровни: 12 — основные; 13 — второстепенные; 14 — сопряженные

Промышленная значимость промежуточных уровней, расположенных внутри кислого разреза, так же как и нижнего, подчиненного подошве кислых вулканитов, различна в разных рудовмещающих структурах и определяется спецификой их развития. В целом определенная автономность становления отдельных палеовулканических структур обуславливает отсутствие единых уровней локализации оруденения (кроме верхнего) в пределах одного и того же района и необходимость индивидуального подхода к прогнозированию и опоскованию в них. Наряду с этим для каждого типа районов выделяются общие специфические особенности локализации оруденения, обусловленные особенностями строения разрезов рудовмещающих толщ и положением в них залежей колчеданных руд. Они во многом определяют специфику прогнозирования и поисков.

Для поисков существенное значение, независимо от только что рассмотренной группировки их по характеру рудовмещающего разреза, является степень дислоцированности рудовмещающих вулканитов, определяющая сохранность первичных рудовмещающих и рудоконтролирующих структурных элементов и современные положения рудных залежей. По этому признаку, играющему важнейшую роль для обстановки проведения поисковых работ, выделяются три группы рудных районов, расположенных в областях: а) недислоцированных, закономерности размещения рудных тел в которых определяются первичными условиями их локализации (тип I); б) частично дислоцированных, первичное залегание рудных тел в пределах которых в сла-

бой степени искажено наложенными дислокациями позднегеосинклинальных и орогенных этапов развития регионов при высокой сохранности и опознаваемости палеовулканических рудо локализирующих и рудоконтролирующих элементов структур (тип II); в) с интенсивным проявлением послерудных дислокаций, где первичное залегание вмещающих пород и руд нарушено и в различной степени искажено — вплоть до полного преобразования с развитием регенерированных рудных тел, наложенных на послерудные (по отношению к первичным колчеданным залежам) структурные элементы (тип III).

*Первичные рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры.* Для районов со слабо проявленными послерудными дислокациями (недислоцированных или частично дислоцированных) общими чертами локализации колчеданных залежей в рудовмещающих структурах являются:

— приуроченность к отложениям, выполняющим пологие депрессионные палеоструктуры поверхности базальтоидов, подстилающих рудовмещающую толщу. В районах домбаровского типа, характерных для рифтогенных структур, это депрессии, приуроченные либо к прибортовым частям трогов, либо к отрицательным формам рельефа лавовых плато, выполненные охарактеризованными выше слоистыми толщами с участием гялокластитов и осадочных пород. В районах других типов депрессионные структуры поверхности базальтоидов контролируют размещение кислых составляющих продуктивных формаций, которые и являются рудовмещающими;

— приуроченность рудных залежей при наличии кислых составляющих продуктивных формаций к слагаемым ими палеовулканическим структурам, созданным в результате извержений центрального типа, происходивших в несколько фаз и сопровождавшихся длительным ростом куполов с сопутствующими им разновозрастными просадками. При этом фазы, а иногда и составляющие их импульсы разделены кратковременными периодами затишья вулканической деятельности, отмеченными накоплением в отрицательных формах созданного к этому времени рельефа продуктов разрушения и переотложения вулканического материала;

— отложение рудного вещества преимущественно в замкнутых депрессионных структурах, неоднократно возникавших в процессе развития кислого вулканизма. Рудовмещающие депрессии размещены на разных уровнях разреза кислых вулкаников, будучи приуроченными к просадкам на склонах куполов или расположенными между куполами. Важнейшим фактором при этом является положение разломов: а) магмовыводящих, определяющих пути поступления продуктов кислого вулканизма, и б) рудоподводящих, являющихся питающими каналами при поступлении рудных растворов и, как правило, ориентированных по нормали к пластовым составляющим залежей.

Расшифровка структуры рудных полей и месторождений на стадии крупномасштабного прогнозирования и поисков соответственно включает следующий круг вопросов: выявление палеоструктур, вмещающих продукты кислого вулканизма с центральным типом извержений; установление числа фаз вулкаников кислого состава, анализ строения и условий залегания продуктов вулканизма каждой фазы

с выделением на основе анализа фаций экструзивных куполов и депрессий различного типа; построение палеорельефа на периоды начала кислого вулканизма и завершения его отдельных фаз с выделением потенциально рудоносных уровней; определение положения синвулканических разрывов различного возраста.

Авторами в совместных с Е. П. Шираем, О. В. Мининой, В. С. Требухиным и А. Г. Волчковым работах по Южному Уралу, где первичные рудовмещающие структуры обладают высокой степенью сохранности, в качестве главных типов депрессионных структур, могущих рассматриваться как потенциальные рудные поля, выделяются:

1) депрессионные структуры, выполненные слоистыми толщами гиалокластитов, кремнистых осадков, потоков мелкошаровых лав, иногда с участием куполов липарит-дацитов; 2) крупные депрессии с размерами в несколько километров, выполненные продуктами кислого вулканизма, сформированными в результате многофазных извержений центрального типа; 3) совокупность сближенных депрессионных структур небольших (0,5—1—2 км) размеров, преимущественно возникших в результате просадок в ходе развития многофазного центрального вулканизма, закономерно сочетающихся с базальтоидными вулканическими центрами и совместно с ними вырисовывающие крупные структуры, по размерам сопоставимые с первыми.

Рудные поля первого типа характерны для палеорифтовых структур кипрско-мугоджарского типа, разрезы продуктивных формаций в которых характеризуются существенно базальтовым составом (рис. 28).

Структурная позиция потенциальных рудных полей второго типа определяется приуроченностью их к внутренним и внешним зонам палеоостроводужных систем. Ведущую роль при этом играет приуроченность рудовмещающих депрессий к замыканиям базальтоидных гряд при сопряженности с расколами, по которым поступали расплавы кислого состава. Таково, в частности, положение Гайской па-

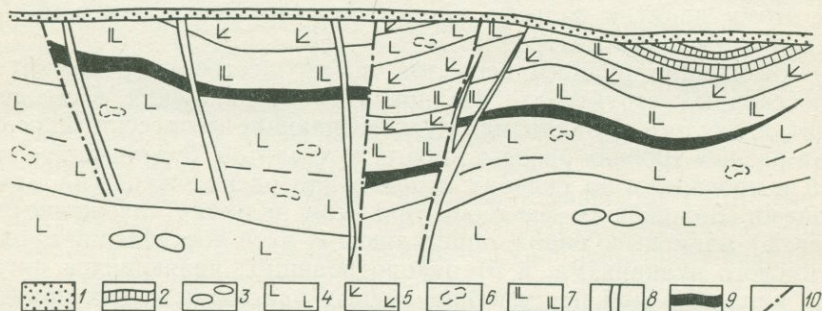


Рис. 28. Геологический разрез месторождения Летнее. По В. С. Требухину и А. А. Фомину.

1 — рыхлые отложения, 2 — кремнистые туффи́ты; 3—6 — лавы афировых базальтов (3 — подущечные, 4 — массивные тонкозернистые и стекловатые, 5 — долериты, 6 — шаровые, капельные лавы, гиалокластиты с прослоями хлоритизированных пелитов); 7 — плагиопорфи́ровые полифировые базальты, массивные и подущечные, 8 — дайки пород основного состава, нерасчлененные; 9 — сплошные руды пирит-халькопирит-магнетитового, пирит-магнетитового и пирит-халькопирит-сфалеритового состава, 10 — разрывные нарушения

леодепрессии, разместившейся на южном замыкании базальтоидной палеогряды, в узле сопряжения глубинного длительно развивавшегося Калиновского разлома с Гайским, более молодым по времени заложения. При этом депрессии, вмещающие продуктивные кислые вулканиты, в ряде случаев (западные части Макан-Гайской и Мугоджарской зон) подстилаются толщами осадочных отложений, отделяющих продуктивные вулканиты от более древних вулканогенных образований, представленных однородной базальтоидной формацией.

Рудовмещающие структуры третьего типа, так же размещенные во внутренних зонах палеоостроводужных систем, представляют собой различные по механизму образования депрессии, расположенные закономерно по отношению к центрам базальтоидного вулканизма, при контроле кольцевых, полукольцевых и радиальных расколов. Так, совокупность выполненных кислыми вулканитами рудоносных депрессий в Верхнеуральском районе обрамляет в виде незамкнутого к югу полукольца Межозерное базальтоидное поднятие. При этом важно подчеркнуть, что рассматриваемые структуры характеризовались различной глубиной и возникали на разных стадиях вулканической деятельности, в связи с чем одни из них вмещают полные разрезы кислых толщ, другие — лишь те или иные их части.

Внутреннее строение толщ кислых вулканитов в структурах обоих названных типов чрезвычайно разнообразно по строению, что определяется: числом фаз извержений, каждая из которых обычно характеризуется сочетанием куполов, лава-пирокластических фаций и завершающих вулканокластических и вулканогенно-осадочных накоплений; формами, размерами, строением куполов и степенью их разрушения — плоскими слабаразрушенными или двояковыпуклыми, длительно выдавливавшимися с обширными шлейфами разрушения или без них; спецификой размещения куполов различных генераций, которые могут быть сближенными или разобщенными по вертикали и латерали; характером палеорельефа в период завершения вулканизма отдельных фаз, который может быть либо относительно выровненным, либо в различной степени расчлененным с пологими или глубоко врезанными локальными структурами высоких порядков. При этом размещение рудных залежей или их совокупностей, соответствующих потенциальным месторождениям, в значительной мере определяется соотношением куполов и сопряженных с ними рудовмещающих отрицательных форм палеорельефа.

Характерным примером структурных условий локализации оруденения в рудных полях рассматриваемого типа является месторождение Юбилейное, расположенное в Западно-Магнитогорской эвгеосинклинальной области (рис. 29), с его пластовыми субгоризонтальными залежами колчеданных руд, находящимися в основании разнофазных экструзий липарит-дацитов, в лежащем боку которых устанавливаются зоны рудоподводящих каналов, отмеченные развитием гидротермально-метасоматических преобразований и сульфидной вкрапленности.

Особо следует остановиться на характеристике рудовмещающих структур в провинциях филизчайского типа. Для этих областей, сложенных пластичными осадочными толщами, характерна весьма вы-

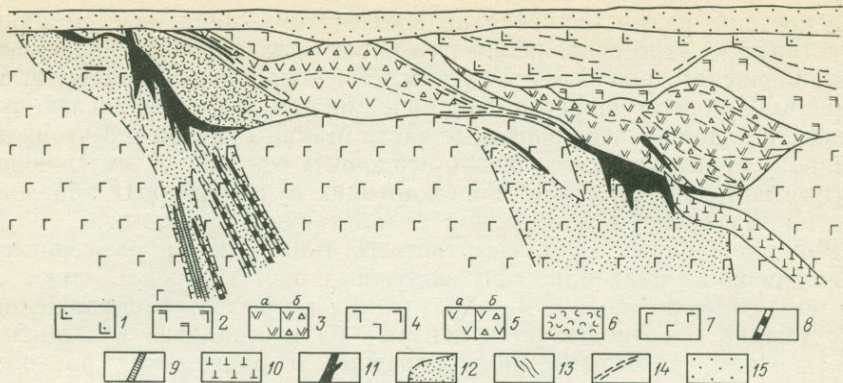


Рис. 29. Сводный разрез месторождения Юбилейное. По А. И. Кривцову и О. В. Минниной.

1 — породы базальт-андезитовой формации; 2—7 — породы контрастной формации, слагающие толщи: 2 — верхнюю базальтовую, 3 — верхнюю дацитовую (а — лавы, б — туфы); 4 — среднюю дацитовую; 5 — нижнюю дацитовую (а — лавы, б — туфы); 6 — андезит-дацитовую; 7 — нижнюю базальтовую, 8—10 — субвулканические тела (8 — основного состава, 9 — кислого состава нерасчлененные, 10 — липарит-дациты); 11 — залежи медноколчеданных руд; 12 — зоны метасоматитов серицитолитовой формации; 13 — рассланцевание; 14 — горизонты вулканомикто-вых пород; 15 — мезо-кайнозойские отложения и кора выветривания

сокая степень дислоцированности рудовмещающих геосинклиналиных отложений, испытавших длительные складчатые и разрывные деформации. Первичные рудовмещающие структуры в этих условиях расшифровываются с большим трудом. Проведенные в последние годы деталиные литолого-фациальные исследования показали, что как и в вулканогенных геосинклиналях колчеданные руды стратифицированы, будучи приуроченными к определенным уровням стратиграфического разреза. При этом рудовмещающими структурами являлись замкнутые депрессии, выделяющиеся по развитию в их пределах более глубоководных существенно глинистых фаций. Режим осадконакопления и отложения руд, сформированных преимущественно в результате гидротермально-осадочного отложения, был застойным при высоком содержании  $S_{орг}$ .

*Рудовмещающие структуры в областях интенсивно проявленных послерудных дислокаций.* Рудные районы областей интенсивно проявленных послерудных дислокаций (тип III) характеризуются искажением рассмотренных первичных условий локализации оруденения, иногда настолько существенным, что их опознание вызывает значительные трудности.

В наиболее простых случаях наложенные тектонические процессы приводят лишь к изменению пространственной ориентировки и некоторому искажению синвулканических рудовмещающих структур, как это имеет место, например, в Сибайском и Учалинском рудных районах Южного Урала. При интенсивных дислокациях рудовмещающие толщи и заключенные в них рудные залежи приобретают крутое моноклиналиное ( $60-80^\circ$ ), запрокинутое до опрокинутого падения, сминаясь в складки различных типов и масштабов (рудные районы Среднего Урала, северного замыкания Магнитогорского ме-

гасинклинория и др.). В этих условиях залегание рудных тел подчинено наложенным деформационным структурам и первичные условия их локализации реконструируются с трудом. Однако выявление их весьма важно, так как локализация поисковых площадей (т. е. выделение рудных районов и в их пределах потенциальных рудных полей) может эффективно производиться прежде всего на основе установления первичных закономерностей их локализации.

На примере ряда районов Среднего Урала установлено, что в дислоцированных толщах, как и в участках со слабопроявленными послерудными дислокациями, рудные залежи локализованы в вулканиках продуктивных контрастной и непрерывной формаций, преимущественно в пределах толщ кислых вулканитов, приурочиваясь к частям их разрезов, содержащих прослой вулканомиктов. Обычно они залегают в верхних (реже в нижних) частях разреза кислых толщ, непосредственно в области контакта с породами вышележащей андезит-базальтовой формации. Во всех случаях залежи колчеданных руд приурочены к пирокластическим фациям, содержащим прослой вулканомиктовых и собственно-осадочных отложений мощностью от 1 до 25 м. При этом пачки вулканомиктовых пород в разрезе кислых толщ приурочены к раздувам их мощности, которые фиксируют, очевидно, палеодепресссионные структуры ранее сформированной поверхности базальтоидов, подстилающих кислые вулканиты.

Однотипность положения колчеданных залежей Среднего и Южного Урала в разрезах вулканогенных формаций, наличие нескольких уровней локализации рудных тел, контроль колчеданных руд палеодепресссионными структурами при приуроченности к определенным фациям, ассоциация с вулканомиктовыми породами, содержащими в своем составе рудокласты, свидетельствуют о доскладчатом возрасте оруденения, его генетической связи с продуктивным вулканизмом и о первичной его локализации в палеоструктурах, подобных детально изученным на Южном Урале.

В результате дислокаций эти первичные рудолокализирующие вулканические структуры, сложенные кислыми породами (биклинали, купола и др.), уплощаются, приобретая характер более выдержанных пластов. Прослой и горизонты вулканомиктовых пород оказываются превращенными в сланцы хлорит-серицит-альбитового состава с различными количественными соотношениями породообразующих компонентов. При этом они порой становятся трудно отличимыми, с одной стороны, от продуктов рассланцевания вулканогенных обломочных пород, а с другой, — от рассланцованных метасоматитов серицитолитовой формации. Вулканокупольные и близкие к ним по форме синвулканические пологительные структуры при развитии последующих дислокаций нередко представляют собой жесткие ядра, облекаемые более пластическими породами и выступающие в роли брахиантиклинальных структур типа штамповых складок и подобных им образований. Рудовмещающие депрессии могут быть также преобразованы в антиклинали, особенно широко развитые в областях интенсивного динамометаморфизма флишоидных толщ провинций фи-

лизчайского типа, где выполняющие их пластичные глинистые толщи оказываются вовлеченными в складки нагнетания.

Рудоподводящие каналы в районах, испытавших инверсию, меняют ориентировку. Их положение в этом случае устанавливается по нормальной по отношению к контактам рудных залежей ориентировке зон метасоматических изменений и концентрации сульфидной вкрапленности. Наиболее крупные разломы древнего заложения, являющиеся долгоживущими, сохраняя свое положение, обычно фиксированы разновозрастными интрузиями и поясами даек позднегеосинклинального и орогенного этапов развития регионов.

Рудные тела в процессе деформаций, помимо изменения углов падения, приобретенного опрокинутого залегания, перемещения из участков сжатия в участки нагнетания, существенно меняют свою форму, подвергаясь складчатости и разрывам с расчленением на отдельные будины, испытывающие перемещения различных масштабов.

Примерами месторождений, расположенных в районах с интенсивно проявленными дислокациями, являются Красногвардейское, им. III Интернационала, Дегтярское (рис. 30) и ряд других, расположенных на Среднем Урале.

Красногвардейское месторождение расположено в Красноуральском рудном поле, будучи приуроченным к запрокинутому восточному крылу одноименной синклинали. Рудные тела, общим числом более двадцати, залегают в вулканитах андезит-дацитовой толщи непрерывной формации, имеющей мощность 100—500 м. Залежи колчеданных руд согласны с напластованием вмещающих пород, располагаясь среди грубообломочных туфов андезит-дацитового и дацитового состава с прослоями лав и редкими пачками слоистых туфоалевролитов, туфопесчаников, туфогравелитов. Все породы, включая сопряженные с рудообразованием метасоматиты, интенсивно расланцованы, особенно в области контакта пород непрерывной формации с залегающими стратиграфически выше базальт-андезит-базальтами. На глубоких горизонтах месторождения вскрыты плагиограниты, серия апофиз которых ориентирована субвертикально, согласно со слоистостью и сланцеватостью. Рудные тела тяготеют к раздуву мощности пород андезит-дацитовой толщи, который отвечает развернутой почти на  $90^\circ$  синвулканической депрессии, отчетливо маркированной прогибом кровли подстилающей андезит-базальтовой толщи с пачками вулканомиктовых пород. Колчеданные залежи приурочены к метасоматитам серицитолитовой формации, образующим три сливающиеся на глубине согласные с напластованием и сланцеватостью зоны, сопряженные на восточном фланге месторождения с мощным трубообразным телом метасоматически измененных пород, ось которого ориентирована почти по нормали к напластованию. Метасоматиты центральной зоны, находящейся в средней части разреза андезит-дацитовой толщи, вмещают основные залежи месторождения, имеющие форму утолщенных линз. По восстанию рудовмещающей зоны установлена смена линз серноколчеданного с магнетитом состава вначале серноколчеданными, затем медноколчеданными.

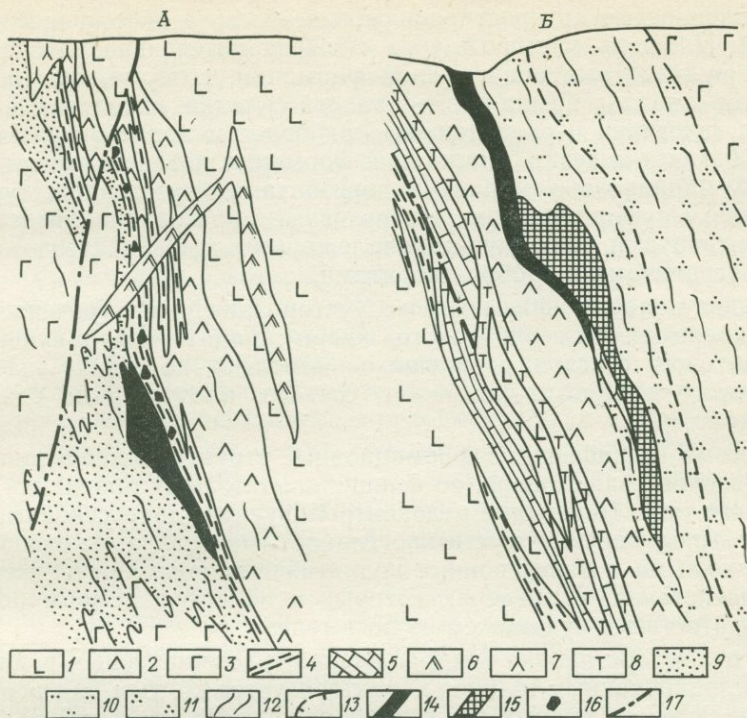


Рис. 30. Геологические разрезы месторождений, расположенных в районах с интенсивно проявленными дислокациями: А — Левиха-ХIII (по Ю. М. Столярову); Б — Дегтярское (по В. Потапову).

1 — вулканиты базальт-андезит-базальтовой формации; 2—3 — вулканиты непрерывной формации (2 — липарит-дацитового и липаритового состава, 3 — андезит-базальтового и базальтового состава); 4 — вулканомычные породы; 5 — известняки; 6 — липаритовые порфиры; 7 — габбро-диабазы; 8 — серпентиниты; 9—11 — метасоматиты серицитолитовой формации (9 — серицит-кварцевые, 10 — кварц-серицитовые, 11 — кварц-серицит-хлоритовые); 12 — рассланцевание; 13 — контуры зон метасоматитов; 14—15 — руды (14 — медноколчеданные, 15 — серноколчеданные); 16 — рудокласты; 17 — разрывные нарушения

Близкие черты сочетания первичных синвулканических и наложенных деформационных структур характерны также для месторождений Левихинской группы. Они состоят из нескольких сотен небольших тел, залегающих среди вулканитов непрерывной формации, совместно с перекрывающими их толщами базальт-андезит-базальтов, залегающими моноκлиально с падением 60—80° к востоку. Рудные тела закономерно ассоциированы с прослоями вулканогенно-осадочных пород. Выявлено четыре уровня локализации оруденения, расположенных в кислых вулканитах общей мощностью около 1,5 км. Метасоматиты серицитолитовой формации слагают мощное трубообразное тело, ориентированное по нормали к ним и соответственно в современной структуре падающее на запад.

Дегтярское месторождение, расположенное в одноименном рудном районе, резко выделяется среди других среднеуральских объектов. Рудная залежь (см. рис. 30) представляет пластообразное тело

протяженностью по простиранию более 4 км, а по падению — 500—600 м. Площадь месторождения сложена интенсивно рассланцованными вулканитами непрерывной формации, которые, слагая запрокинутое к западу крыло синклинальной складки, находятся в опрокинутом залегании и расположены над более молодыми туфами и лавами базальт-андезит-базальтовой формации. Область контакта формаций маркирована мощными горизонтами известняков, туфоалевролитов и туфопесчаников. Интрузивные образования представлены серпентинитами, возможно принадлежащими к доскладчатым силлам, плагиогранитами и габбро-диоритами.

Рудная залежь описываемого месторождения приурочена к сланцам кварц-хлорит-серицитового, кварц-серицитового и существенно серицитового состава, развившихся, вероятно, по туфам андезит-базальтового и андезит-дацитового состава, а отчасти по осадочным породам.

Весьма специфичны деформационные структуры колчеданных месторождений, залегающих во флишоидных толщах провинций филизчайского типа. Первичные рудоконтролирующие депрессионные структуры, выполненные существенно глинистыми осадками, оказываются вовлеченными в инверсионные поднятия с широким развитием складок нагнетания, в пределах которых и залегают деформированные складчатостью и будинажем рудные тела.

В целом обстановка месторождений, расположенных в интенсивно дислоцированных толщах, характеризуется крутым близвертикальным залеганием рудных тел и рудовмещающих структур. Вследствие этого поверхность современного эрозионного среза фактически отвечает плоскости разреза, ориентированной к напластованию пород под углами 60—90°. Очевидно, что эрозионный срез в этой ситуации может обеспечить выведение на поверхность любых частей рудных тел. Перекрытые залежи могут быть обнаружены по падению соответствующих рудоконтролирующих литолого-стратиграфических подразделений и уровней.

Вовлечение колчеданосных районов в более поздние тектонические процессы, нередко сопровождающиеся становлением синхронных с ними или наложенных интрузий, еще более осложняет пространственное размещение и внутреннее строение рудных залежей. По характеру и интенсивности преобразований рудовмещающих толщ и залежей колчеданных руд при последующих тектоно-магматических процессах четко различаются две группы районов, в пределах которых вмещающие породы и руды либо не испытали заметного воздействия интрузий послерудных гранитоидов, либо существенно преобразованы под их воздействием.

Рудные районы рассмотренных выше типов (I, II и III) входят в первую группу. Среди рудных районов второй группы, в свою очередь, различаются также три типа: а) не претерпевшие существенных послерудных деформаций (тип IV); б) интенсивно дислоцированные без существенного переотложения рудного вещества (тип V); в) интенсивно дислоцированные с развитием процессов регенерации (тип VI).

Пространственное размещение и внутреннее строение рудных залежей в пределах рудных районов второй группы сильно осложняется. Слагающие их руды подвергаются перекристаллизации с утратой первичных колломорфных структур, нарушением типовой зональности и выносом компонентов в породы кровли, зоны нарушений и трещиноватости. Под влиянием флюидного фронта интрузий может происходить существенное переотложение рудного вещества с возникновением регенерированных рудных тел, как это предполагается рядом исследователей для многих месторождений Рудного Алтая и отдельных залежей в некоторых районах Среднего Урала. Для локализации переотложенных руд существенное значение имеют ослабленные зоны кливажа осевой плоскости, разрывные нарушения, зоны трещиноватости и рассланцевания, которые, находясь над фронтом вызывающих регенерацию магматических масс, выступают как вторичные по своему происхождению рудовмещающие и рудоконтролирующие структуры. Они могут сочетаться с литолого-структурными экранами, полостями отслоения, пачками пород, благоприятных для замещения, и с другими факторами, играющими роль рудоконтролирующих и рудовмещающих при процессах эпигенетического гидротермального рудообразования.

Рассмотренные обстановки нахождения медноколчеданных месторождений в рудных районах различных типов свидетельствуют о том, что рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры обладают синвулканическим (конседиментационным) происхождением, а наблюдаемые ныне структуры рудных полей и месторождений являются результатом сочетания синвулканических и более поздних собственно-тектонических процессов. Степень выраженности этих разновозрастных и существенно различных по природе процессов определяет уровень сохранности и искажения первичных структур месторождений и условий залегания рудных тел, что оказывает решающее влияние на условия проведения поисковых работ.

## Морфология рудных тел

Первичная морфология залежей колчеданных руд в значительной мере определяется формой депрессионной структуры, в которой происходило рудоотложение. Наиболее широко распространены пластовые или плосколинзовидные тела, протяженность которых колеблется от десятков до нескольких сотен метров при мощности от 1 до 250 м. Выклинивания их обычно постепенны, но в случаях ограничения рудолокализирующей депрессии уступами, крутыми склонами липаритовых куполов или базальтоидов основания залежи прекращаются на полной мощности. Крайним выражением подобных соотношений является сундучная форма мощной центральной части залежи Учалинского месторождения, приуроченной к узкой депрессии, глубоковрезанной в тело липарит-дацитового купола. Продолжение рудного тела за пределы этой депрессии представлено маломощными рудными пластами, переслаивающимися с вулканогенно-осадочными породами.

Ограничения залежей со стороны висячего бока обычно представляют четкую слабоволнистую поверхность. Лежащий бок большинства залежей осложнен языковидными отщеплениями, отходящими по сопряженным с пластовым телом гидротермально-осадочных руд зонам прожилково-вкрапленной непромышленной минерализации. Протяженность таких «языков» измеряется обычно первыми метрами, в редких случаях достигает десятков, в единичных — сотен метров. Частным случаем залежей рассматриваемого типа являются «бескорневые» рудные тела, сформированные на некотором удалении от выводных каналов вследствие перетекания рудообразующих рассолов от места выхода источника в депрессии морского дна. При этом массивные гидротермально-осадочные и вкрапленные гидротермально-метасоматические руды могут быть пространственно разобщенными.

Второй морфологический тип представляют комбинированные залежи, имеющие форму уплощенных, раскрытых вверх воронок, узкая часть которых прослеживается на несколько десятков, редко до сотен метров, а также Т-образные тела. Субсогласные части таких тел, контролируемые депрессионными структурами, принадлежат к производным гидротермально-осадочного процесса, а крутые апофизы со стороны лежащего бока обладают всеми признаками гидротермально-метасоматического рудоотложения в подводящих каналах. При этом известны случаи, когда локализация руд происходит только в подводящих каналах без развития пологих составляющих, однако рудные тела этого типа, как правило, не имеют существенного практического значения.

Выше уже отмечалось, что во многих месторождениях колчеданные залежи располагаются поэтажно. При этом сближенные залежи, размещенные на разных горизонтах одного и того же уровня (например, в слоистых горизонтах, завершающих продуктивный вулканизм), нередко тесно связаны друг с другом, отстоя одна от другой на незначительном расстоянии, при кулисом перекрытии окончаний, в связи с чем при подсчете запасов они иногда рассматриваются как единое рудное тело. Примером особо тесной связи пластовых тел друг с другом является рудная залежь Ново-Сибайского месторождения, где пластовые залежи, расположенные на различных горизонтах слоистой толщи, объединены единым рудоподводящим каналом, образуя своеобразную «связку». В целом наибольшая сближенность рудных залежей как в пределах одного уровня, так и различных уровней характерна для условий рудоотложения в длительно и унаследованно развивавшихся депрессиях. При разобщенности последних по латерали заключенные в них залежи изолированы друг от друга, иногда на значительные расстояния как по латерали, так и по вертикали.

В областях развития интенсивных послерудных дислокаций первичная морфология рудных залежей подвергается существенным изменениям. Они приобретают, как было показано выше, крутое падение, в ряде случаев опрокинутое, в соответствии с характером складчатости рудовмещающих толщ. Многие залежи при этом распадаются на отдельные будины, обычно достаточно сближенные для

того, чтобы можно было установить принадлежность их к первично-единому рудному телу. Известны случаи смятия залежей в складки различного масштаба — от микроплойчатости, характерной для маломощных рудных прослоев во вмещающих их вулканомиктовых отложениях, до относительно крупных флексурных изгибов, подобных известной в литературе «английской петле» протяженной и мощной залежи Дегтярского месторождения (Урал). Важно отметить при этом, что в связи с резко различными физическими свойствами колчеданных руд и вмещающих их более пластичных пород, для отдельных будин и тел небольших размеров нередко нарушается первичное строго согласное со слоистостью их положение.

### Метасоматическая и рудная зональность

Существенное значение для прогнозирования рудных полей и поисков в их пределах имеет зональность гидротермально-метасоматических изменений вмещающих пород, в ряде случаев позволяющая наметить положение рудоподводящих каналов. В слабодислоцированных рудных полях зональность симметрична относительно крутопадающих секущих составляющих залежей, т. е. рудоподводящего канала, и асимметрична относительно согласных рудных тел.

Метасоматиты, фиксирующие рудоподводящие каналы, вверх по разрезу постепенно расширяются и ветвятся, разворачиваясь до субгоризонтальной ориентировки, выходя на фланги согласных колчеданных залежей, и имея, таким образом, в поперечном сечении форму усеченных конусов, обращенных вершиной книзу.

Канальные части метасоматитов сложены серицит-кварцевыми и кварц-серицитовыми породами, к периферии сменяющимися кварц-серицит-хлоритовыми и кварц-карбонат-серицит-хлоритовыми, к составу которых добавляются альбит и эпидот. Во всех ассоциациях участвуют пирит и лейкоксен. В самых нижних сечениях зоны преобразований породы характеризуются ассоциациями кварц—эпидот—карбонат—актинолит—хлорит при отсутствии титаномagnetита и пирита.

Над согласными залежами широко развиты процессы окварцевания, эпидотизации и гематитизации. Серицит и пирит распространены лишь непосредственно у контактов всячего бока рудных тел, и то не везде.

Существенное усложнение гидротермально-метасоматической зональности имеет место в условиях интенсивной дислоцированности рудных залежей и вмещающих их толщ. На примере рудных полей Среднего Урала А. И. Кривцовым [12, 13], О. В. Мининой, А. Г. Волчковым и другими показано, что в условиях запрокинутого залегания вулканогенных толщ и интенсивного их рассланцевания со стороны первичного положения лежащего бока рудных тел метасоматиты оконтуриваются как воронкообразное тело, ориентированное почти по нормали к напластованию. Боковые ограничения его имеют зубчатые очертания, определяемые перегруппировкой вещества по сланцеватости. Колчеданные залежи располагаются над расширенной частью зоны метасоматитов, однако они смещены относительно оси

первичного рудоподводящего канала по восстанию пород и располагаются на выклинках сланцевых зон. Полосчатое распределение различных фаций метасоматитов по сланцеватости, согласной с напластованием, при общем контроле секущими слоистость подводящими каналами хорошо объясняется перегруппировкой, устанавливаемой для рудных компонентов. При всей сложности строения метасоматической зональности в рассматриваемых случаях сохраняется асимметричное положение метасоматитов относительно кровли рудных тел: надрудные толщи при той же интенсивности расланцевания не несут серицитсодержащих ассоциаций, по набору минералов отвечая фации зеленых сланцев, и нередко содержат тонкодисперсный гематит.

В целом независимо от степени дислоцированности месторождений надрудные части разреза маркируются зонами развития гематитизации различной интенсивности, а подрудные — развитием метасоматитов серицитолитовой формации.

Выявленные закономерности имеют существенное значение при оценке рудных полей и определении дальнейшего направления поисков в их пределах. Так, приуроченные к зонам подводящих каналов поля широкого площадного развития кварц-серицитовых метасоматитов мало перспективны (особенно на глубину) на обнаружение промышленных руд, вследствие значительной эродированности изучаемой площади.

В то же время прослеживание таких зон по простиранию может привести к обнаружению сохранившихся участков сочленения канала с рудоносным уровнем промышленной концентрации. В условиях интенсивно дислоцированных толщ таким образом перспективны те участки развития серицитолитовой формации, где они согласны с напластованием вмещающих пород и либо выклиниваются (по простиранию, падению или восстанию), либо граничат со стороны висячего бока с зеленокаменными часто гематитизированными породами.

Характеризуя вещественный состав руд и рудную зональность, следует прежде всего отметить, что принадлежность большинства колчеданных залежей к гидротермально-осадочным образованиям обуславливает неприменимость к этому классу эндогенных месторождений принципов выделения этапов и стадий минералообразования, разработанных А. Г. Бетехиным, Н. В. Петровской и другими исследователями применительно к рудным телам собственно-гидротермального происхождения. Этап рудообразования в данном случае, учитывая разработки Е. Т. Шаталова [23], включает формирование колчеданных залежей в рамках становления данной вулканогенной формации. В качестве продуктов отдельных стадий минерализации рассматриваются залежи колчеданных руд, сформированные в связи со становлением одной из фаз продуктивного вулканизма, характеризующего этап рудообразования. Деление стадий на подстадии опирается на наличие в колчеданных залежах, в их гидротермально-осадочных частях, разновременных ритмов либо ритмслоев, рассматриваемых ниже. Элементы такого рода ритмов отождествляются с импульсами рудоотложения, которые могут включать минералы разновременного выпадения.

В большинстве колчеданосных провинций выделяется несколько этапов развития продуктивного вулканизма и соответственно синвулканического рудообразования (например, для Урала ордовик-силурийский, верхнесилурийский—нижнедевонский, эйфель-живетский). В пределах рудных районов и рудных полей, напротив, обычно проявлена лишь одна продуктивная вулканогенная формация и соответствующий ей один этап рудообразования, хотя известны примеры пространственной сближенности двух одновременных периодов вулканизма и оруденения (например, Учалинско-Верхнеуральский район на Южном Урале с оруденением, сопутствующим контрастной и непрерывной вулканогенным формациям).

Характерной особенностью строения залежей колчеданных руд является зональное распределение различных их типов, установленное рядом исследователей (В. П. Логиновым, В. И. Смирновым, Д. В. Рундквистом, Н. В. Скрипченко, И. А. Кривцовым и др.). При этом выявлен ряд общих закономерностей, из которых главные заключаются в том, что для большинства рудных тел характерна однотипная контрастная зональность по мощности с закономерным обогащением медью и цинком от лежащего бока к висячему. Поскольку колчеданные залежи согласны с напластованием вмещающих пород, вектор зональности, как это подчеркнуто В. И. Смирновым и Д. В. Рундквистом, перпендикулярен к слоистости. При этом указанная ориентировка вектора зональности остается постоянной как в пологолежащих, так и в крутопадающих залежах, изменивших свое первичное залегание.

Вещественный состав медноколчеданных руд определяется постоянным сообществом в качестве главных рудообразующих минералов пирита, халькопирита и сфалерита с незначительным количеством галенита, блеклых руд, борнита и широкого спектра минералов-примесей. Нерудные составляющие представлены кварцем, серицитом, хлоритом, карбонатами.

Внутреннее строение колчеданных залежей характеризуется грубой полосчатостью, связанной с наличием прослоев серицитовых сланцев и подчеркиваемой ритмично-слоистым размещением текстурно-минералогических типов руд. В типовом случае каждый ритм образован тремя составляющими, нижняя из которых характеризуется существенно пиритовым составом, средняя — более высоким содержанием халькопирита и прикровельная — повышенной концентрацией сфалерита. В целом для залежей характерно повышение содержания халькопирита и сфалерита в ритмах по направлению к висячему боку.

Физические и химические свойства рудообразующих минералов идентичны в соответствующих элементах различных ритмов в пределах одной залежи, в то время как между одноименными минералами, участвующими в строении разных элементов одного и того же ритма, имеются существенные различия. На примере Гайского месторождения установлено, что пирит существенно пиритовых частей всех ритмов, представленный тонкозернистыми агрегатами с повсеместно присутствующими реликтами метаколлоидных и фрамбоидальных структур, марказита и мельниковита, обладает повышенным содержа-

нием мышьяка и марганца и близкими физическими свойствами. Он постоянно ассоциирует с незначительным количеством халькопирита, соотношения с которым характеризуются отсутствием коррозионных границ. Пирит, участвующий в составе халькопирит-пиритовых элементов ритмов, обеднен мышьяком, обогащен серебром и особенно медью и отличается от первого по физическим свойствам.

Обработка результатов опробования руд, слагающих залежи, еще более отчетливо, чем минералогические данные, подтверждает ритмичное их строение с общим обогащением медью и цинком при движении от лежачего бока к висячему и от центральных частей, прилежащих к рудоподводящему каналу, к флангам залежей, что особенно детально рассмотрено на примере уральских месторождений А. И. Кривцовым и В. Б. Шишаковым. Ими установлено, что в сечениях по мощности как медь, так и цинк характеризуются ритмично-полосчатым распределением концентраций с общим ростом их уровня от лежачего бока к висячему. Максимумы концентраций цинка смещены от максимумов меди в сторону висячего бока при равенстве участков повышенных содержаний обоих металлов. Распределение меди и цинка по направлениям, параллельным кровле рудного тела и отвечающим элементарным составляющим последних, симметрично относительно подводящего канала (рис. 31 и 32). В сечениях по простиранию и вкрест простирания содержания меди и цинка распределены симметрично относительно осей наибольших мощностей, отвечающих рудоподводящим каналам. При плавном возрастании концентраций от канала, сменяющемся затем резким падением, и равенстве числа максимумов содержаний меди и цинка они располагаются на разном удалении от выводных путей: меньшем для меди и большем для цинка.

Колчеданные залежи, сформированные на разных стадиях длительно развивавшегося рудного процесса и расположенные на различных уровнях разреза рудовмещающих толщ, во многом сходны между собой. Ритмично-полосчатое их строение обусловлено чередованием ритмов, сложенных одними и теми же минеральными ассоциациями. Физические и химические свойства минералов, образующих одноименные ассоциации в различных рудных телах, одинаковы, что отражает сходные условия отложения рудного вещества на различных стадиях развития рудного процесса.

Наряду с этим характерно закономерное изменение количества халькопирита и сфалерита в рудах каждой последующей подстадии и стадии.

Это положение, связанное, по-видимому, отчасти с естественной эволюцией рудообразующих растворов, отчасти с экстракцией цинка и меди из ранее сформированных рудных тел, омываемых растворами поздних стадий минералообразования, обуславливает в ряде случаев отчетливо проявленную вертикальную зональность рудных полей. Она заключается в том, что залежи, располагающиеся на различных уровнях продуктивного разреза, в большинстве случаев различаются по содержанию полезных компонентов. Общая закономерность выражается в относительной обогащенности халькопиритом и пиритом (соответственно медью и цинком) руд залежей более высоких

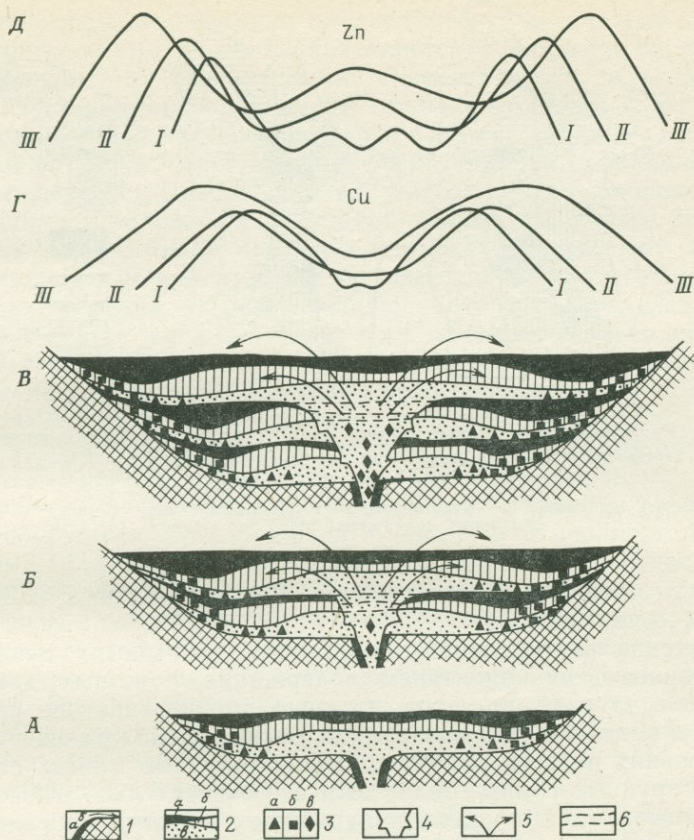


Рис. 31. Схема трехритмового формирования (А, Б, В) субмаринной залежи колчеданных руд, основанная на фактическом распределении меди и цинка в метаморфизованных месторождениях Урала.

1 — границы подводящего канала (а) и дна депрессии (б) с породами ложа бассейна; 2 — типы руд (а — цинковые, б — медные, в — пиритовые); 3 — зоны накопления халькопирита (а), сфалерита (б) и перекристаллизации пирита (в); 4 — границы участков взаимодействия поздних порций растворов с продуктами рудоотложения предшествующих ритмов (вынос меди и цинка, совмещение продуктов рудоотложения разных ритмов, перекристаллизация пирита и т. п.); 5 — направление миграции рудообразующих растворов; 6 — границы типов руд ранних ритмов над рудоподводящим каналом. Графики изменения содержаний меди (Г) и цинка (Д) для каждого из трех ритмов (I, II, III) формирования колчеданных руд

уровней при соответственном уменьшении в них роли собственно-пиритовых руд. Характерный набор ритмов в рудных телах разных уровней вверх по разрезу рудовмещающих вулканитов в общем случае отличается все более высокими содержаниями халькопирита в кварц-халькопирит-пиритовой и сфалерита в сфалерит-пиритовой составляющих ритмов, вплоть до резкого преобладания этих минералов над пиритом. В рудах нижних залежей халькопирит обычно составляет первые проценты в халькопирит-пиритовых составляющих ритмов, а в верхних рудных телах, завершающих рудообразование, число его достигает в отдельных случаях 25 % площади шлифа. В сред-

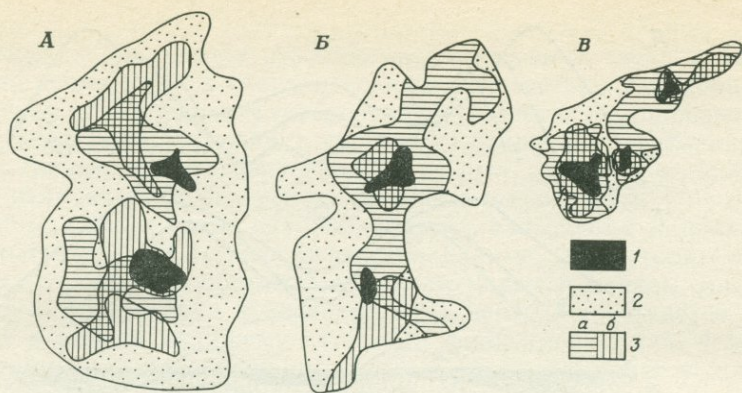


Рис. 32. Распределение концентраций меди и цинка на месторождениях первой группы. Пресс-проекции рудных тел месторождений: (А — Юбилейное, Б — Октябрьское, В — Осеннее).

1 — максимумы мощностей, 2 — участки рядовых содержаний меди и цинка; 3 — участки максимальных содержаний меди (а) и цинка (б)

нем руды верхних уровней богаче нижних медью в 2,5—5 раз, а цинком — до 7 раз.

Значение вертикальной зональности для многих рудных полей не исчерпывается изменением содержания полезных компонентов. Авторами на ряде примеров показано, что нередко она выражается также в различии объемов рудной массы, располагающихся на разных уровнях разреза рудовмещающих толщ. Во многих случаях наиболее крупные рудные тела, хотя и с относительно невысокими содержаниями меди и цинка, приурочены к нижним уровням разреза, где они локализованы в относительно крупных палеодепресссионных структурах, развитых на поверхности ложа кислых вулканитов или на границе кислых извержений первой и второй фаз. Вверх по разрезу, вероятно, в связи с меньшим размером структур, связанных с вулканическими просадками и тенденцией к общей нивелировке палеорельефа, размеры рудовмещающих депрессий сокращаются, в связи с чем создаются условия для формирования многочисленных, но небольших по размерам рудных тел. Ярким примером в этом отношении являются многочисленные мелкие тела богатых руд верхнего уровня рудного поля месторождения им. XIX партсъезда (Урал), резко контрастирующие с крупными более бедными рудными телами Узельгинского месторождения (нижний уровень). Однако рассмотренные соотношения не являются универсальными, и в ряде случаев крупные залежи известны и на верхних уровнях (Учалинское, Подольское месторождения).

Залежи колчеданных руд месторождений, расположенных в областях интенсивных дислокаций рудовмещающих толщ, в большинстве случаев сохраняют в той или иной степени особенности первичного распределения рудообразующих минеральных ассоциаций и концентраций полезных компонентов. В типовом сечении концентрации меди, возрастая к висящему боку, падают вблизи кровли рудных тел,

где резко повышены содержания цинка. Главные отличия от неметаморфизованных месторождений заключаются в меньшем числе ритмополос, большей их относительной «растянутости» по мощности, более ярко проявленной зональности от лежачего бока к висячему. Сечения по короткой оси, сопоставимые с сечениями вкрест простирающихся рудных тел в недислоцированных областях, обнаруживают меньшую зависимость расположения максимальных концентраций меди и цинка от положения осей наибольших мощностей. Участки повышенных концентраций полезных компонентов отвечают «струйчатым» и полосовым максимумам их содержаний, ориентированным по восстанию залежей. В целом общую картину распределения полезных компонентов в рудных телах этих объектов следует рассматривать как сложное сочетание процессов первичного рудоотложения и многократно проявленных процессов перегруппировки.

В месторождениях, испытавших воздействие контактового метаморфизма в связи с внедрением послерудных гранитоидных интрузий, первичные особенности распределения полезных компонентов испытывают весьма существенные преобразования. Наряду с преобразованием окolorудных метасоматитов в роговики с кордиеритом, антофиллитом, андалузитом, биотитом, руды подвергаются частичной или полной перекристаллизации с перегруппировкой рудных компонентов. С разной отчетливостью проявляется тенденция к вертикальной зональности с ростом концентраций меди и цинка в верхних частях залежей. Наряду с этим элементы первичной зональности (от висячего бока к лежачему) иногда сохраняются, хотя они и выражены менее отчетливо. Симметрия максимумов концентраций меди и цинка относительно канала нередко нарушена, а участки максимумов содержаний меди и цинка часто совмещены.

Наконец, в регенерированных и полностью переотложенных рудных телах ведущими являются элементы вертикальной зональности и зональности, определяемой размещением разновозрастных минеральных ассоциаций.

Значение указанных закономерностей при прогнозировании и поисках заключается в том, что при встрече мелких рудопроявлений в верхних горизонтах рудовмещающих толщ можно предполагать возможность открытия более крупных залежей в их нижних горизонтах. Кроме того, если удастся выявить зональность какого-либо встреченного на этой стадии рудного тела, то направление ведущего вектора его зонального строения помогает определить залегание (нормальное или опрокинутое) рудовмещающих толщ, так как обратная обычной ориентировка вектора зональности может рассматриваться как указание на возможное общее опрокинутое залегание в пределах рассматриваемой площади.

#### **ТИПОВАЯ МОДЕЛЬ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ГЛАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЕЕ СТРОЕНИЯ, ПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ И ПРИЗНАКИ**

Продукты синвулканического колчеданообразования могут обособливаться в виде рудных тел двух основных классов. К первому из них принадлежат пластообразные, согласные с напластованием

тела, представляющие результат гидротермально-осадочного рудоотложения в депрессионных структурах и сопряженные с непромышленными гидротермально-метасоматическими прожилково-вкрапленными рудами лежащего бока. Частным случаем залежей этого класса могут быть «бескорневые» тела, сформированные на некотором удалении от выводных каналов за счет перетекания рудообразующих рассолов в депрессии морского дна. В таких обстановках массивные гидротермально-осадочные и вкрапленные гидротермально-метасоматические руды могут быть частично разобщены в пространстве.

Второй класс представляют комбинированные залежи, имеющие форму уплощенных воронок, Т-образных и близких к ним тел. Субсогласные части таких тел, контролируемые депрессионными структурами, принадлежат к производным гидротермально-осадочного процесса, а крутые апофизы со стороны лежащего бока обладают всеми признаками гидротермально-метасоматического рудоотложения в подводящих каналах. От подобной типовой обстановки возможны отклонения в двух вариантах: а) локализация руд только в подводящих каналах без развития пологих составляющих; б) продолжение процессов рудообразования после накопления некоторой части разреза перекрывающих толщ. Оба этих варианта не обеспечивают обособления рудного вещества в значительных масштабах и в дальнейшем изложении не рассматриваются.

Сформированные таким образом рудные тела являются главным элементом модели медноколчеданных месторождений. Остальные элементы модели определяются из рассмотренных обстановок нахождения медноколчеданных месторождений как устойчивые, постоянно повторяющиеся геологические образования, составляющие ближнюю и дальнюю рамы рудных тел (рис. 33).

Типовая модель медноколчеданного месторождения определяется системой соподчиненных элементов разного ранга, из которых для целей прогноза и поисков ведущее значение имеют следующие.

1. Отложения, перекрывающие колчеданосные вулканогенные формации и обычно представленные вулканогенными молассоидами и породами базальт-андезит-базальтовой формации.

2. Колчеданосные вулканогенные формации: контрастная (липарит-базальтовая) или непрерывная (базальт-андезит-дацит-липаритовая).

3. Кислые дифференциаты колчеданосных вулканогенных формаций.

4. Рудоконтролирующие части разрезов колчеданосных вулканогенных формаций, включающие надрудные, рудовмещающие и подрудные толщи вместе с поверхностями (уровнями) локализации гидротермально-осадочных руд. При этажном расположении рудных тел толщ, перекрывающие залежи нижних уровней, выступают в качестве надрудных и рудовмещающих для залежей верхних уровней.

5. Рудоконтролирующие структуры, в качестве которых чаще всего выступают палеовулканические сооружения, образованные экстрезивными и субвулканическими фациями умеренно кислого и кислого состава. Часты группы экстрезивных куполов липаритового и липа-

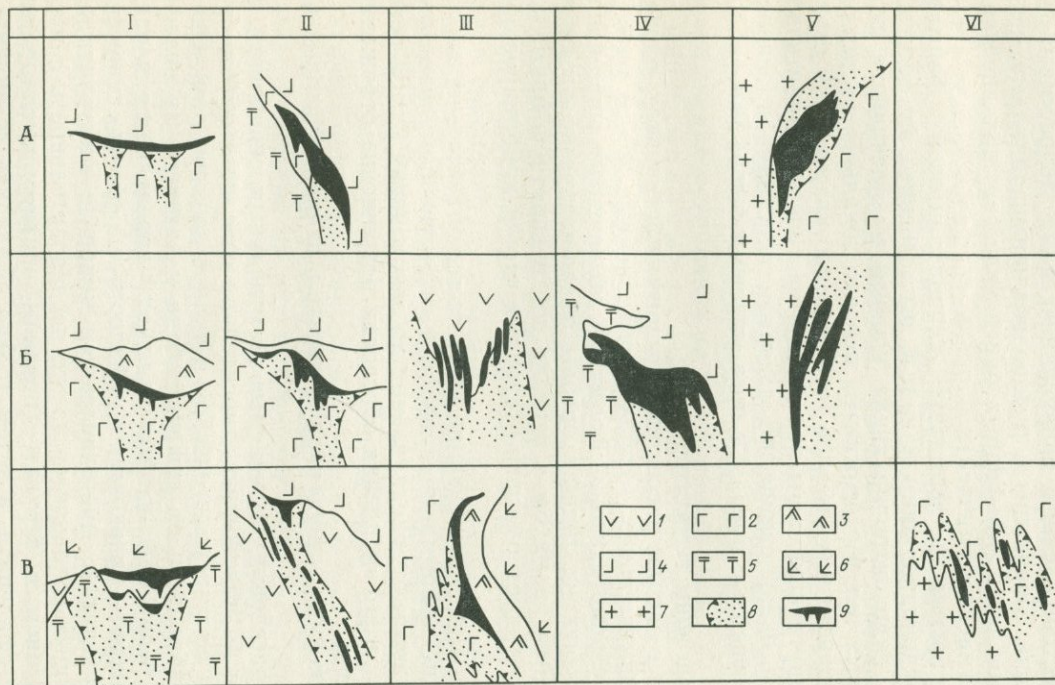


Рис. 33. Типовые разрезы медноколчеданных месторождений Урала.

I—VI — группы месторождений по условиям залегания. Типы рудных районов: А — домбаровский, Б — учалинско-сибайский, В — верхнеуральский. Вулканыты колчеданосных формаций: 1—2 — рудовмещающие (1 — кислого и умереннокислого состава, 2 — основного состава); 3—4 — перекрывающие (3 — кислого и умереннокислого состава, 4 — основного состава); 5 — экструзивные фации липарито-дацитового состава; 6 — вулканыты базальт-андезито-базальтовой формации; 7 — граниты, плагнограниты, диориты; 8 — метасоматиты серицитолитовой формации; 9 — медноколчеданные залежи

рит-дацитового состава нескольких периодов (и уровней) формирования.

6. Комплекс поисковых признаков рудных тел, включающий:

— рудоподводящие каналы, ориентированные под значительными углами к рудоконтролирующей поверхности напластования;

— рудовмещающие структуры, представленные на слабо преобразованных месторождениях синвулканическими депрессиями (подобные депрессии сопряжены с рудоподводящими каналами, нередко вмещающими часть сульфидных руд в виде секущих апофиз лежащего бока согласных залежей);

— сульфидоносные метасоматиты серицитолитовой формации, подчиненные рудоподводящим каналам, ограниченные по восстанию поверхностями рудоконтролирующих уровней и отвечающие лежащему боку рудных тел. Метасоматиты нередко зональные по латерали относительно подводящих каналов (существенно кварцевые и серицито-кварцевые внутренние зоны через зоны частичной серицитизации, хлоритизации и окварцевания по латерали переходят в зеленокаменно преобразованные породы с пограничными шлейфами эпидотизации);

— надрудные зоны гематитизации;

— эндогенные ореолы рассеяния в типовых обстановках, расположенные в рудовмещающих толщах и подчиненные зонам развития метасоматитов серицитолитовой формации, но развитые шире последних. В перекрывающих толщах ореолы обладают резко ограниченным вертикальным размахом и нередко почти вплотную примыкают к всяческому боку гидротермально-осадочных частей комбинированных рудных тел;

— рудокласты, присутствующие лишь на тех объектах, на которых синвулканические деформации привели к существенному изменению рельефа поверхности рудолокализации до захоронения руд, а режим последующего осадконакопления обеспечил разрушение отложенного рудного вещества;

— послонную сульфидную вкрапленность в вулканомиктовых пачках.

7. Рудные подсечения, получаемые по отдельным скважинам, могут оцениваться по положению относительно основного объема рудных тел, исходя из минералогической и рудной зональностей. Основной рисунок зональности от лежащего бока к всяческому (в недеформированных и непреобразованных залежах) определяется последовательностью: пирит—халькопирит—сфалерит, но обычно существенно осложнен вследствие многочисленных микро- и макроритмов, в каждом из которых сохраняется та же последовательность с постепенным увеличением к верхним (поздним) ритмам сначала доли халькопирита и сфалерита, а затем только сфалерита со значительным уменьшением количества двух других минералов. Латеральная зональность рудных тел отвечает тому же ряду минералов и элементов при концентрическом размещении и тяготении существенно пиритовых руд к нижним и центральным частям рудных тел.

8. Рудные тела. Медноколчеданные месторождения в большинстве случаев представлены группой залежей, располагающихся либо на

общем литолого-стратиграфическом уровне, либо этажно на нескольких уровнях, либо в комбинации латеральных и вертикальных повторений. Обычно сочетание пластообразных гидротермально-осадочных и Т-образных комбинированных рудных тел при некотором преобладании последних.

9. Промышленные руды, выделяемые в соответствии с геолого-экономическими требованиями.

Перечисленные элементы типовой модели в сумме составляют комплекс прогнозных и поисковых критериев и признаков, подлежащих выявлению при решении главной задачи геологоразведочных работ — обнаружение месторождения.

Разнопорядковый характер элементов типовой модели отражает вхождение медноколчеданных залежей, составляющих месторождения, в систему соподчиненных прогнозно-металлогенических категорий разного ранга.

Колчеданоносные структурно-формационные зоны в наиболее общем случае отвечают тем частям эвгеосинклинального пространства, где развиты продуктивные вулканогенные формации — контрастная и непрерывная либо одна из этих формаций, неоднократно повторяющаяся по простиранию зоны.

Потенциальные рудные районы эквивалентны структурно-формационным подзонам или блокам, сложенным одной из колчеданоносных формаций — контрастной или непрерывной. Набор типов рудных районов определяется обстановками развития этих формаций в структурно-формационных зонах разного типа.

Потенциальные рудные поля занимают часть площади развития колчеданоносной формации и в основных типах рудных районов совпадают с ареалами распространения кислых дифференциатов. Последние обычно представлены экстрезивными куполами, сочетающимися с лавовыми потоками и туфовыми толщами.

Перспективные участки в пределах рудных полей отвечают рудоконтролирующим структурам, которые сочетают в себе палеовулканические сооружения, образованные экстрезивными и субвулканическими фациями умеренно кислого и кислого состава, синвулканические депрессии на разных уровнях разреза и синвулканические разрывы, контролирующие распределение фаций и мощностей вулканитов. Перспективные участки эквивалентны площадям возможного нахождения медноколчеданных месторождений, обычно состоящих из групп сближенных по вертикали или латерали рудных тел.

Условия прогнозирования и поисков медноколчеданных месторождений определяются тем, в какой мере конкретная геологическая ситуация отвечает типовой модели прогноза поисков.

## **ОБСТАНОВКИ ВЕДЕНИЯ ПОИСКОВ**

Геологическая обстановка нахождения месторождений колчеданных руд в рудных районах различных типов определяется, как было показано выше, совокупностью особенностей первичной их локализации и интенсивностью и характером испытанных ими преобразований. С учетом этого выделяются шесть главных групп обстановок

нахождения месторождений, характерных для рудных районов домбаровского (А), учалинско-сибайского (Б) и верхнеуральского (В) типов, существенно влияющих на методы и условия проведения поисковых работ (см. рис. 33).

В первую группу входят объекты с субгоризонтальными или слабонаклонными рудными телами, залегающие в породах, уровень преобразования которых не превышает пренит-пумпеллитовой фации. Структуры и текстуры руд, околорудных метасоматитов и вмещающих пород в этом случае не претерпели существенных изменений. Представители месторождений первой группы весьма многочисленны: в районах домбаровского типа это Осеннее и Летнее, учалинско-сибайского — Юбилейное (залежь IV), Валенторское, Шемурское, верхнеуральского — Узельгинское, Чебачье, Касаргинское, Подольское, Октябрьское, Майское.

Основным отличием месторождений второй группы является крутонаклонное залегание рудных тел с проявлениями динамометаморфизма в локальных зонах околорудного пространства. При этом часть кварцево-серицитовых метасоматитов (а иногда и неизменных пород) оказывается рассланцованной; рудные тела в контактовых зонах испытывают заметные преобразования структур и текстур, а в некоторых случаях и минерального состава. В районах домбаровского типа это Приорское месторождение, учалинско-сибайского — Учалинское, Сибайское, Бурибайское, Юбилейное (залежь II), верхнеуральского — Гайское, Маканское.

К третьей группе относятся месторождения, рудные тела которых, вследствие наложения интенсивных дислокаций, обладают близвертикальным, запрокинутым и опрокинутым залеганиями, иногда смяты в складки и в различной степени разобщены на будины разного размера. Представители месторождений третьей группы известны в районах учалинско-сибайского (Кабанская группа) и верхнеуральского (Дегтярское, Калугинское, Красноуральская, Кировградская и Карабашская группы) типов.

К четвертой группе относятся месторождения, на которых рудные тела, сохраняя субгоризонтальное залегание, интенсивно преобразованы в связи с контактовым взаимодействием гранитоидов. Минеральный состав и текстуры руд в этом случае испытывают существенные изменения, а околорудные метасоматиты превращены в роговиковоподобные породы различного состава. Характерным представителем этой группы является месторождение им. 50 лет Октября.

Более сложному случаю соответствует пятая группа месторождений, на которых рудные тела и вмещающие породы испытали не только контактовый метаморфизм, но и значительные дислокации, вызвавшие, наряду с преобразованием руд и метасоматитов, существенные изменения в их залегании. Представителями месторождений пятой группы являются Весеннее и Тарньерское.

Шестую группу, мало распространенную и еще недостаточно изученную, представляют некоторые месторождения Среднего Урала (Заводское, им. III Интернационала), рудные тела которых образованы в результате переотложения (регенерации) первичных зале-

жей колчеданных руд, контролирующихся новообразованными структурными элементами.

Представители месторождений III, IV и VI групп в районах домбаровского типа, VI группы в районах учалинско-сибайского типа, а также IV и V групп в районах верхнеуральского типа на Урале пока не выявлены.

Различия в обстановках нахождения месторождений оказывают существенное влияние на морфологию геохимических ореолов и распределение в околорудном пространстве элементов-примесей.

Эндогенные ореолы медноколчеданных месторождений образованы элементами-индикаторами (Cu, Zn, Pb, Ba, As, Co, Mo, Ag) и второстепенными элементами (Hg, Au, Bi, Cd, Sr, Ni, Mn). В объемной фигуре ореолов выделяются тыловые (подрудные) зоны, типовыми элементами-индикаторами которых являются Mo, Co, Cu, Ba, фронтальные (надрудные) с Ba, Pb, Ag, Zn и промежуточные (околорудные) комплексного состава с интенсивным развитием рудообразующих элементов (Cu, Zn). На рис. 34 показаны особенности строения эндогенных ореолов рассеяния для наиболее полно изученных типов колчеданных месторождений Урала.

Обстановка IA (см. рис. 34) отличается локальным развитием ореолов и обедненностью их элементного состава (в основном Cu, Zn, Co). В наиболее общем случае морфология ореолов определяется сочетанием преобладающих близгоризонтальных согласных и подчиненных секущих аномальных зон (IAa). Стратиформные ореолы сопровождают рудные тела, а также выделяются в над- и подрудных толщах. Секущие столбообразные ореолы имеют сквозное распространение в пределах линейных зон мощностью в первые десятки метров при приуроченности к крутопадающим разрывным нарушениям.

В тех случаях, когда месторождения представлены не мелкими этажно расположенными залежами, а относительно крупными единичными телами, ореолы обладают грибовидной формой (IAb). Она определяется сочетанием пластообразных околорудных ореолов и мощной крутопадающей трубообразной корневой ореольной зоны, на продолжении которой иногда выделяется столбообразная надрудная зона.

Для практики геохимических поисков скрытых рудных залежей этого типа принципиально важны малая мощность стратиформных околорудных ореолов и большая (до 200 м) протяженность секущих столбообразных надрудных зон, имеющих малые мощности.

Для обстановки IIA морфология и строение ореола в целом сохраняются. Отличия от ореолов обстановки IA заключаются лишь в отсутствии секущих столбообразных зон ореолов в надрудных толщах. В обстановке VA, несмотря на интенсивный метаморфизм руд и метасоматитов, а также изменение ориентировки рудных тел, сохраняются общий облик ореолов и их строение, близкое к обстановке IA. Влияние метаморфизма и наложения поздней полиметаллической минерализации выражается в повышении концентраций элементов фронтальной зоны над верхней выклинкой рудной залежи по сравнению с нижней.

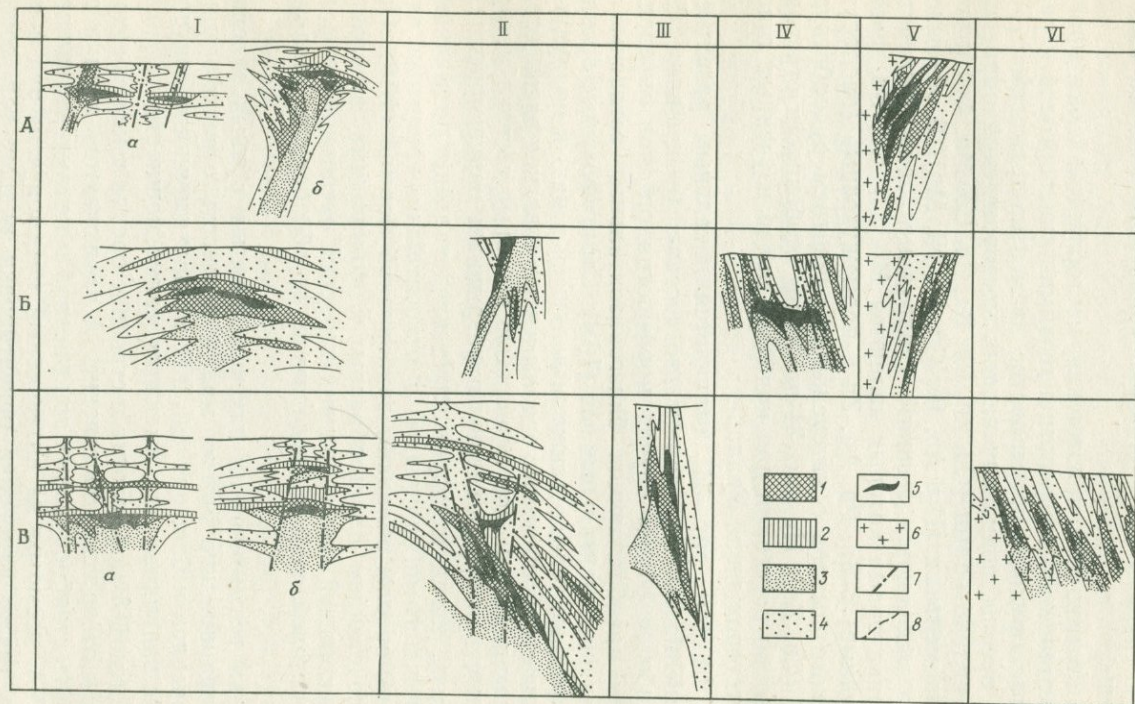


Рис. 34. Схема строения первичных ореолов рассеяния колчеданных месторождений. По Э. Н. Баранову.

I—VI — группы месторождений по условиям залегания. Типы рудных районов: А — домбаровский, Б — учалинско-сибайский, В — верхне-уральский. Ореолы: 1 — комплексного состава (Cu+Zn+Pb+Mo, Ba, Ag, As); 2 — фронтального типа (Pb, Zn, Cu, Co, Mo); 3 — тылового типа (Co, Mo, Zn, Pb, Ba); 4 — обедненного состава (один-два элемента); 5 — рудные залежи; 6 — гранитоиды; 7 — разрывные нарушения; 8 — границы вулканогенных формаций

В обстановке IB при общем послѣдном развитии аномалий в строении общего ореола выделяются мощная столбообразная подрудная зона и околорудный стратиформный ореол комплексного состава. Типичные фронтальные зоны ореола (Cu+Zn+Pb, Zn+Pb) имеют локальное распространение непосредственно в висячем боку комплексного ореола, а иногда и в отрыве от него. Вертикальная зональность ореола описывается рядом элементов: Mo—Co—Zn—Cu—Pb—Ba. Фланговые зоны ореолов имеют медно-цинковый состав. Распространение ореолов в надрудных вулканитах может достигать нескольких десятков метров, хотя нередко случаи практического их отсутствия в этих толщах.

В обстановках изменения пространственной ориентировки рудных залежей (IB) морфология и строение ореолов в целом сохраняются; на уровне рудной залежи хорошо выделяется тыловая зона, а на глубину, по падению рудовмещающих вулканитов, прослеживаются только фланговые зоны обедненного медно-цинкового состава. Показательно практическое отсутствие ореолов в перекрывающих толщах, где геохимические аномалии рудогенного типа выявлены только в связи с дайками, пересекающими рудную залежь.

Для контактово-метаморфизованных месторождений (IVB и VB) морфология и строение ореолов зависят от ориентировки рудных тел. При их пологом залегании широкие интенсивные подрудные ореолы (Co+Mo+Cu) устанавливаются в блоке подстилающих рудную залежь вулканитов. В надрудной толще развиты крутопадающие зоны ореолов, приуроченные к разрывным нарушениям и пострудным дайкам. Особенностью надрудных ореолов является их преимущественно Mo—Co (с Cu, Zn) состав при локальном распространении ореолов фронтального типа (Zn+Pb). Вблизи крутопадающих рудных тел ореолы сохраняют свой стратиформный облик и асимметричное относительно рудной залежи строение (см. рис. 33, VB). В метасоматитах, подстилающих рудную залежь, выделяется комплексный ореол мощностью до 20—30 м. В его составе наряду с Cu, Zn, Pb участвуют Mo, Co, тогда как с другого бока рудных залежей прослеживаются в основном ореолы обедненного медно-цинкового состава, а поля комплексного состава, практически отсутствуют.

Обстановка IV характеризуется более широким, чем в случаях IA и IB, распространением геохимических аномалий в вулканитах продуктивной формации при подчиненном, локальном их распространении в породах подстилающих и перекрывающих толщ. Преобладает субсогласный с напластованием тип аномальных зон при подчиненном проявлении дисконформных секущих аномалий, контролирующихся разрывными нарушениями, жерловыми зонами палеовулканов и контактами субвулканических тел.

Наиболее простой морфологией и выдержанным закономерным строением здесь обладают ореолы месторождений с субгоризонтальными и слабонаклонными рудными залежами (IV). В вертикальном разрезе общего ореола по особенностям состава и строения в двухъярусном геологическом разрезе выделяются две крупные ореольные зоны: нижняя — в вулканитах рудовмещающей непрерывной формации и верхняя — в перекрывающей толще (IVa).

Ореолы нижней зоны, сопровождающие рудную залежь, характеризуются высокой интенсивностью, комплексностью состава и зональным строением, которое определяется сочетанием контрастной асимметричной вертикальной зональности и менее отчетливой латеральной. По масштабам проявления и составу отчетливо разделяются под- и надрудная части околорудных ореолов. Подрудная часть имеет Mo-Co (с Cu, Zn, Sn, Bi, Ag) состав при развитии ореолов выноса Ba, Sr, Mn и V. Содержания Mo возрастают с глубиной, тогда как уровни концентраций других элементов повышаются по мере приближения к рудной залежи; непосредственно подрудные зоны характеризуются комплексным составом.

Надрудные ореолы характеризуются более сложным распределением: над рудной залежью они прослеживаются в виде непрерывной согласной зоны комплексного состава мощностью до первых десятков метров, а выше — в виде прерывистых согласных с напластованием полос моно- и биэлементного состава. При этом в них выделяются локальные участки столбообразного сквозного распространения аномалий, которые пространственно приурочены к зонам крутопадающих разрывных нарушений. Надрудные ореолы имеют полиэлементный состав, их типоморфными элементами являются свинец, серебро и барий. Характерно появление аномалий марганца, в особенности во фланговых частях надрудных ореолов.

Осложнения строения геохимического ореола появляются в случае этажного размещения рудных залежей (см. рис. 34, IVБ). При двух и более рудоносных уровнях в разрезе рудовмещающих вулканитов характерно столбообразное распространение ореолов в пределах рудовмещающих блоков и их прерывистое распределение в разрезе на флангах месторождения. При этом геохимические ореолы могут иметь сквозное распространение в пределах рудовмещающей формации и в подстилающих толщах пород, где они фиксируют рудо-подводящую зону, а в перекрывающих толщах пород ореолы проявлены локально — в виде узких линейных секущих зон аномалий обедненного состава на продолжении рудоконтролирующих разломов. Вертикальная зональность ореолов существенно осложняется чередованием в разрезе зон различного типа и характеризуется слабым развитием ореолов подрудного типа, связанных с верхними рудными залежами, и их широким интенсивным развитием в подрудных сечениях нижних рудных залежей.

Типовую модель ореола в обстановках крутонаклонных залежей (см. рис. 34, IVВ) представляет Гайское месторождение.

Ореол Главной рудной зоны по всем параметрам (распределению, составу и зональности) является первичным, сингенетичным колчеданному оруденению. Его стратиформное распределение в разрезе, широкое площадное распространение в плоскости рудовмещающей толщи, характерное зональное строение отражают условия формирования основного колчеданного оруденения и сопровождающих ореолов при первичном близгоризонтальном залегании рудовмещающей толщи. Ореолы в надрудной толще кислого состава по составу близки фронтальным ореолам Главной рудной зоны, хотя пространственно разобщены. Среди преобладающих полей моно- и биэлементного

состава (Zn, Cu+Zn) выделяются узкие линейные зоны полиэлементного состава, располагающиеся симметрично относительно немногочисленных зон комплексного состава.

В вулканогенных молассоидах, перекрывающих рудовмещающие вулканиды на флангах месторождения, развиты стратиформные аномальные ореолы свинца, серебра, молибдена, которые затухают по мере удаления от месторождения и могут рассматриваться как результат перегруппировки рудного вещества под воздействием различных послерудных процессов.

В обстановках, характерных для среднеуральских месторождений, которые испытали значительные дислокации с изменением первичного залегания до субвертикального и запрокинутого (см. рис. 34, IIIВ), ореолы обладают следующими особенностями: а) тесной пространственной связью с зонами рассланцованных метасоматитов серицитолитовой формации, ориентированными по напластованию колчеданоносных вулканогенных толщ; б) пласто- и линзообразной формой, подобной таковой метасоматических и рудных тел; в) значительной протяженностью по простиранию (до первых километров) с переходом в линейные стратиформные аномальные поля обедненно-го состава, распространяющиеся непрерывно в пределах рудных полей и районов; г) контрастной асимметричной зональностью в направлении снизу вверх по разрезу вмещающих толщ и неконтрастной латеральной зональностью по напластованию с типовым распределением элементов-индикаторов. Так, в строении эндогенного ореола Левихинского месторождения установлен воронкообразный раздув поля тылового типа, относительно которого проявлена латеральная концентрическая зональность элементов.

В ореолах других среднеуральских месторождений, претерпевших более интенсивные преобразования, сохраняется асимметричная зональность снизу вверх по разрезу вулканидов с выделением тыловой зоны в метасоматитах подводящих каналов и зоны комплексного состава в плоскости рудоконтролирующих уровней, однако латеральная зональность приобретает однонаправленную ориентировку — по восстанию. Этот факт в сочетании с возрастанием масштабов и интенсивности ореолов на выклинивании зон метасоматитов по восстанию, по-видимому, отражает влияние процессов переотложения рудного вещества в зонах рассланцевания.

Обстановка VIВ существенно отличается от рассмотренных выше. Ведущими ореолообразующими элементами здесь являются медь, цинк и молибден, при этом наиболее широкие и интенсивные ореолы образует медь. В строении крутопадающих зон, развитых в вулканидах колчеданосной формации над массивом плагиогранитов, проявлена симметричная поперечная и однонаправленная продольная вертикальная зональность. В центральных частях этих зон выделяются линейные поля комплексного состава с высокоаномальными концентрациями меди (до промышленных), молибдена и других элементов, в периферийных — ореолы Cu+Zn и Cu. Вертикальная зональность выражается прежде всего в смене комплексных полей по падению зонами тылового типа (Mo+Co+Cu, Zn), которые прослеживаются и в измененных плагиогранитах. Фронтальные зоны

(Cu+Zn+Pb, Zn+Pb) имеют локальное развитие и устанавливаются в центральных частях наиболее удаленных от массива крутопадающих зон.

Принципиально важным для прогнозирования и поисков глубокозалегающего колчеданного оруденения является отсутствие в провинциях уральского типа геохимически скрытых колчеданных месторождений — все известные скрытые месторождения в том или ином виде проявляются на уровне поверхности коренных пород в виде удаленных надрудных ореолов, которые имеют, в основном, эпигенетическую природу и формируются в результате перераспределения и перераспределения рудного вещества. Изложенное показывает, что различия в геохимических характеристиках 12 геологических обстановок определяются главным образом изменениями ориентировок осей ореолов и усложнением их строения в результате перераспределения ореолообразующих элементов. Вместе с тем в любых обстановках относительно рудных тел сохраняются однотипное распределение ореолообразующих элементов и их зональность, что имеет определяющее значение для формирования типовых моделей медноколчеданных месторождений и анализа условий ведения поисков.

Весьма существенную роль при ведении поисков имеет положение эрозионного среза по отношению к элементам типовой модели в различных геологических обстановках (рис. 35).

Для первой группы обстановок с субгоризонтальным залеганием рудных тел три первых варианта положения эрозионного среза (см. рис. 35, I, II, III) обеспечивают выведение на поверхность различных по возрасту и составу толщ, перекрывающих продуктивную формацию и обычно не несущих информации не только о возможном присутствии рудных тел на глубине, но и о наличии продуктивных формаций на нижних горизонтах. В таких обстановках представление о строении и о потенциальных перспективах глубоких горизонтов может быть получено геофизическими методами и структурно-поисковым бурением.

При более глубоком положении эрозионного среза (см. рис. 35, IV) вскрывается верхняя часть разреза продуктивной формации, включая зоны метасоматитов и подводные каналы для залежей самых верхних уровней (если таковые существовали). Прямые признаки залежей нижних уровней на эрозионном срезе не получают выражения. Перспективность таких площадей определяется потенциальной рудоносностью более глубоких литолого-стратиграфических уровней, иногда выходящих на поверхность на удалении от рудовмещающей структуры, а также общими соображениями о возможности этажного расположения залежи вблизи вскрытых эрозией рудоподводящих рудных тел самого верхнего уровня. Тела метасоматитов в подобных каналах, пересекающих экстрезивные купола, как правило, не несут залежей массивных руд. Наиболее информативными в подобной обстановке являются выходы рудоконтролирующих литолого-стратиграфических подразделений и уровней, иногда с прослоями сульфидоносных вулканомиктовых пород, а в отдельных случаях — с включениями рудокластов в туфовых и вулканомиктовых пачках и горизонтах.

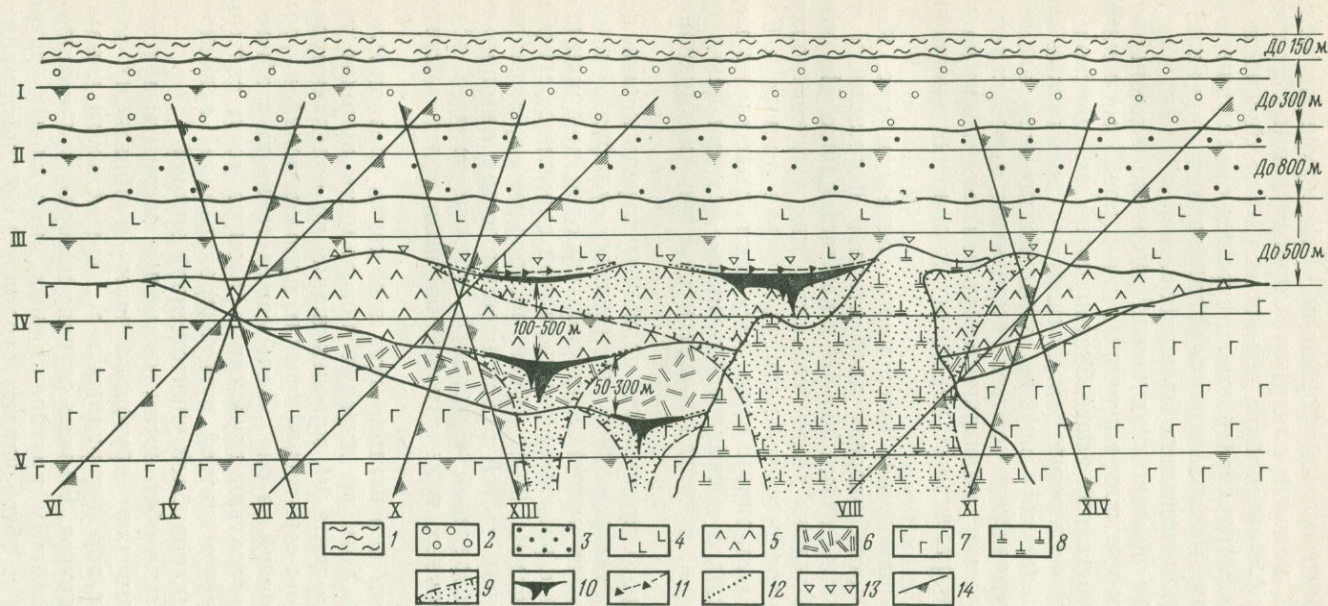


Рис. 35. Обобщенная схема обстановок нахождения перекрытых медноколчеданных месторождений.

1-4 — образования, перекрывающие колчеданосные вулканогенные формации (1 — наносы, 2 — граувакки, 3 — вулканогенные молассоиды; 4 — вулканы базальт-андезит-базальтовой формации); 5-7 — колчеданосная непрерывная формация — толщи (5 — дацитовая, 6 — андезит-дацитовая, 7 — андезит-базальтовая и базальтовая); 8 — экструзивные купола липаритовых порфиров; 9 — метасоматиты серицитолитовой формации с вкрапленностью сульфидов; 10 — рудные тела; 11 — вулканомиктовые породы и рудокласты; 12 — послойная сульфидная вкрапленность; 13 — надрудная гематитизация; 14 — варианты положения эрозийного среза при различном залегании рудных тел и вмещающих пород: I-V — близкого горизонтальном, VI-VIII — наклонном, IX-XI — крутом близвертикальном, XII-XIV — запрокинутом

Самый нижний вариант положения эрозионного среза (см. рис. 35, V) отвечает вскрытию глубоких частей подрудных толщ с зонами метасоматитов серицитолитовой формации, фиксирующими положение рудоподводящих каналов для уничтоженных эрозией колчеданных залежей. В такой ситуации сохранившиеся от эрозии части продуктивной формации бесперспективны на скрытое оруденение, а прожилково-вкрапленная минерализация в подводящих каналах, как правило, не имеет промышленных масштабов.

Вторая группа обстановок отвечает умеренно наклонному залеганию рудовмещающих пород и рудных тел с преобразованиями в локальных зонах. Эта группа более благоприятна для поисков и обнаружения скрытых месторождений, поскольку эрозионные срезы обеспечивают выведение на дневную поверхность ряда элементов типовой модели, позволяющих уверенно определять перспективы глубоких горизонтов. Рассмотрим выраженность этих элементов на дневной поверхности при различных вариантах положения эрозионного среза.

Первый вариант положения эрозионного среза (см. рис. 35, VI) отвечает вскрытию части разреза продуктивной формации и перекрывающих ее толщ под углами 30—45° к напластованию. На поверхность могут быть выведены такие элементы, как рудоконтролирующие литолого-стратиграфические подразделения и уровни в благоприятных случаях с вулканомиктами, несущими сульфидную вкрапленность и рудокласты, а в неблагоприятных — без признаков сульфидной минерализации, а иногда и фрагменты зон «надрудной» гематитизации.

Вариант VII более благоприятен, поскольку перечисленные выше элементы дополняются обнажением «подрудных» сульфидоносных метасоматитов, фланговых частей первичных ореолов, надрудных зон гематитизации, пачек с рассеянной сульфидной вкрапленностью и горизонтов с рудокластами. В подобной обстановке перспективность глубоких (по падению) частей рудоконтролирующих литолого-стратиграфических подразделений и уровней, прежде всего в области контакта сульфидоносных и гематитизированных толщ, достаточно очевидна.

Менее определены перспективы при положении эрозионного среза в варианте VIII. Хотя на дневную поверхность выходят те же элементы, что и в варианте VI, прослеживание по падению рудоконтролирующих литолого-стратиграфических подразделений и уровней в обстановке, отраженной на рис. 35, не может привести к обнаружению рудных тел. Перспективы глубоких горизонтов могут связываться лишь с обнаружением другой рудоконтролирующей вулканотектонической структуры, подобной уничтоженной эрозией.

В третьей группе обстановок возможные варианты положения эрозионного среза отвечают крутонаклонному и обратному залеганию рудовмещающих пород и рудных тел с интенсивным динамометаморфизмом тех и других. Во всех случаях поверхности эрозионного среза отвечают плоскостям крутонаклонных продольных разрезов вулканогенных толщ и обеспечивают ограниченную информацию об их изменчивости по первичной латерали. Такие срезы представляют

информацию о распределении фаций и мощностей вулканитов по простираанию в отдельных случайных сечениях.

Варианты IX—XI принципиально не отличаются от вариантов VI—VIII. На эрозионный срез выводятся те же элементы, но отличающиеся от типовой модели определенными преобразованиями и иными углами падения. То же может быть отмечено для вариантов XII—XIV, аналогичных вариантам VI—VIII, но в обстановках запрокинутого и опрокинутого залеганий вулканитов и рудных тел.

Проведенный анализ условий выполнения прогнозных и поисковых работ показывает, что во всех вариантах остаются постоянными геологические факторы, определяющие позицию колчеданосных зон, рудных районов, рудных полей и перспективных участков. Различия в обстановках ведения поисков влияют на выбор методики работ по обнаружению рудных тел, в частности, на расположение скважин и выбор скважинных геофизических методов.

## **ВАРИАНТЫ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВОГО КОМПЛЕКСА И ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

### **Основной вариант**

Общая последовательность работ по прогнозу и поискам скрытых медноколчеданных месторождений при соблюдении принципов последовательного приближения и соответствия выражается в следующем виде (рис. 36):

— прогнозные исследования с целью выделения в пределах перспективных металлогенических зон (МЗ) потенциально-перспективных колчеданосных структурно-формационных зон (ППСФЗ) или их частей, а также потенциальных рудных районов или их частей (ПРР), сложенных вулканитами непрерывной продуктивной вулканогенной формации (НПВФ) или контрастной продуктивной вулканогенной формации (КПВФ);

— общие глубинные поиски (в некоторых районах глубинное геолого-геофизическое доизучение) с целью обнаружения потенциальных рудных полей (ПРП) в пределах известных либо новых рудных районов;

— детальные поиски с задачей обнаружения в потенциальном рудном поле перспективных участков (ПУ) и установления в них рудных проявлений (РП);

— поисково-оценочные работы с целью оконтуривания рудных тел (РТ), приближенного определения их масштабов и качества руд;

— предварительная разведка с задачей установления промышленных рудных залежей (ПРЗ).

Эта последовательность отражена на схеме (см. рис. 36) в виде основного варианта ведения работ.

В схеме прогнознo-поискового комплекса для каждого отрезка процесса предусмотрены возможности получения информации об объекте трех вариантов:

— позитивного (обнаружение на данной площади) — с переходом к следующей стадии (подстадии) работ;

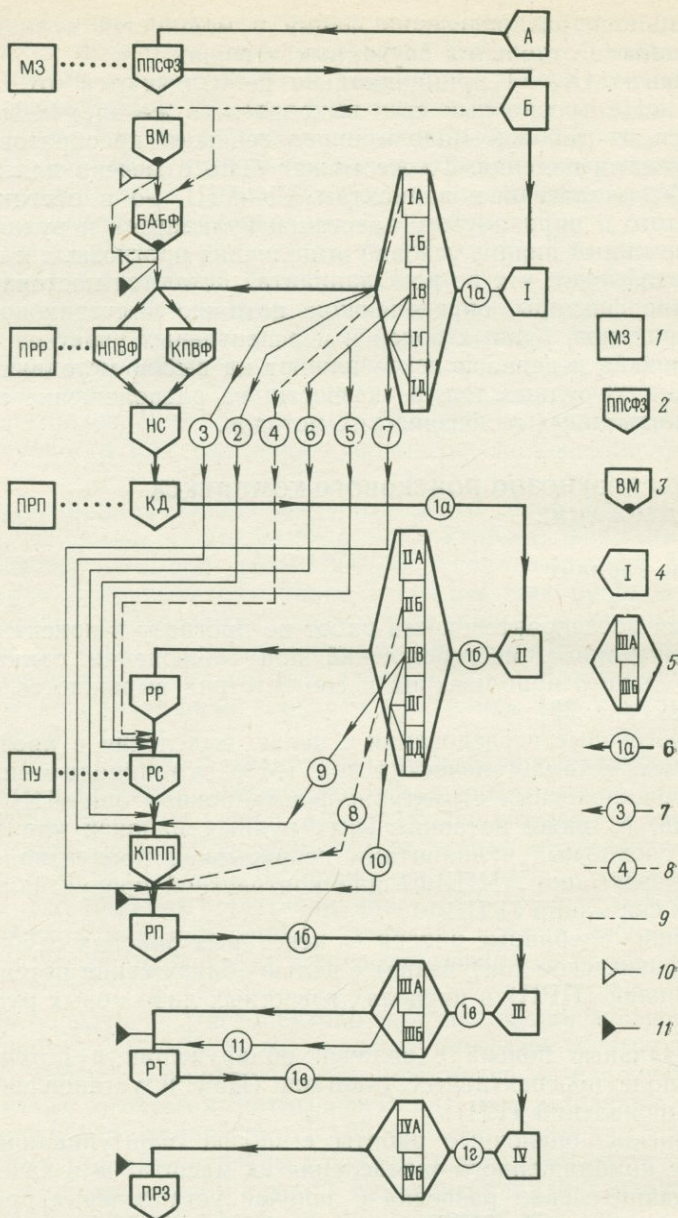


Рис. 36. Схема рационального сочетания работ по поискам скрытых медноколчеданных месторождений (на примере Урала).

1 — металлогенические категории, эквивалентные геологическим объектам; 2 — основные объекты и цели поисков соответствующих стадий и подстадий; 3 — то же, промежуточные; 4 — стадии и подстадии работ; 5 — виды и методы работ; 6 — основной вариант ведения поисков и его отрезки; 7 — то же, сокращенные варианты; 8 — сокращенные варианты ведения поисков с риском получения негативных или неопределенных результатов; 9 — варианты обстановок нахождения объектов поисков; 10 — значительные мощности перекрывающих отложений; 11 — отсутствие объекта поисков на площади ведения работ

— негативного (тупикового) — обоснования отсутствия прогнозируемого объекта в данной части пространства с исключением его из дальнейшего прогнозно-поискового освоения и соответственно прекращением работ;

— неопределенного, требующего возврата к началу соответствующей стадии с введением дополнительных методов, которые могут обеспечить получение однозначного — позитивного или негативного решения.

Схема прогнозно-поискового комплекса отражает не только временную последовательность работ, но и их последовательную локализацию с повышением детальности в соответствии с принципом последовательного приближения. Полнота реализации этой схемы определяется уровнем изученности той или иной территории. В каждом конкретном случае работы должны начинаться с того отрезка процесса, началу которого отвечает выявление объекта прогноза или поисков предшествующей стадии.

Основной вариант ведения работ предусматривает последовательное обнаружение всех объектов прогноза и поисков и отвечает наиболее длительному пути от прогнозных исследований до обнаружения рудных тел.

Прогнозные исследования в масштабах 1 : 200 000—1 : 50 000 (см. рис. 36, А и Б), открывающие прогнозно-поисковый комплекс, имеют целью установление потенциально колчеданосных зон или их частей, перспективных на обнаружение скрытых медноколчеданных месторождений. Выделение таких площадей обеспечивается проведением формационного, палеовулканологического и палеотектонического анализов на базе среднemasштабных карт. Колчеданосные структурно-формационные зоны располагаются между барьерными и тыльными зонами со специфическими формационными характеристиками или в узких протяженных прогибах, ограниченных выступами основания эвгесинклинальных комплексов. В целом в основе выделения таких площадей обычно лежит та или иная концепция о строении закрытых площадей, исходящая из общегеологических и региональных данных о глубинной структуре территорий, сложенных породами более молодых, чем колчеданосные, формаций, или надрудными частями разреза последних. Главным в таких концепциях является предположение о наличии на глубине перекрытых продуктивных формаций, поддерживаемое данными о строении прилегающих площадей и их экстраполяцией в форме предполагаемых разрезов на закрытых территориях.

Для дальнейшего продолжения работ необходим анализ обстановки ведения поисков, целесообразность постановки которых определяется исходя из нескольких вариантов строения закрытых площадей.

Наличие на перспективной площади вулканогенных молассоидов (ВМ) не исключает рудоносности нижележащих частей разреза. Тупиковые варианты могут быть получены при весьма значительной мощности вулканогенных молассоидов, при их налегании на базальты недифференцированной формации либо на вулканы базальт-андезит-базальтовой формации (БАБФ), имеющие значительную мощ-

ность. В остальных ситуациях так или иначе обоснованное предположение о наличии на глубине продуктивных формаций подлежит проверке работами следующей стадии (подстадии) (см. рис. 36).

I. Подстадия общих (глубинных) поисков, на некоторых площадях выполняемая в варианте глубинного геолого-геофизического изучения, имеет целью установить колчеданосные вулканогенные формации в перекрытом залегании, определив тем самым потенциальный рудный район, а при надрудном положении эрозионного среза (НС) выделить поля развития кислых дифференциатов (КД), эквивалентные потенциальным рудным полям (ПРП).

Работы данной подстадии должны обеспечить необходимую информацию для оценки прогнозных ресурсов категории  $P_3$  для площади потенциальных рудных районов и категории  $P_2$  для потенциальных рудных полей. Основные критерии для выделения этих категорий площадей и их признаки приведены в табл. 7.

Начальные работы этой подстадии (IA), включающие обработку материалов магнито- и гравиметрических съемок в масштабе 1 : 50 000 с построением карт локальных аномалий с радиусом усреднения 3—5 км, обеспечивают проверку исходной геологической гипотезы методами грави- и магнитометрии, дающими предварительное расчленение палеозойского разреза и подтверждающими (или опровергающими) наличие на глубине вулканогенных образований, залегающих под толщами иного состава. Используя эти методы, можно расшифровать глубинное строение потенциально перспективных площадей, но трудно однозначно опознать захороненные продуктивные формации. Осложняющим обстоятельством является неоднозначность соотношений аномальных магнитных и гравитационных полей с перекрытыми колчеданосными формациями, допускающая многовариантную геологическую интерпретацию.

Дополнение грави- и магнитометрических работ сейсморазведкой (методом отраженных волн по профилям через 5—10 км) на аномальных участках или по регулярно размещенным профилям (IB) позволяет уточнить внутреннее строение палеозойского разреза до значительных глубин с получением более определенной информации о возможной формационной принадлежности перекрытых вулканогенных образований. Кроме того, сейсморазведка, выявляя зоны отсутствия отражающих площадок, конкретизирует участки последующих работ, поскольку такие зоны могут быть представлены экстрезивными куполами, субвулканическими интрузиями, телами метасоматитов серцитолитовой формации или сочетаниями этих объектов.

Проверка природы таких зон является одной из задач следующего отрезка (IV), на котором проходкой структурных скважин глубиной 1000—1200 м через 1—1,5 км в сейсморазведочных профилях обеспечивается расшифровка разреза и установление формационной принадлежности вулканогенных толщ, а при благоприятных условиях — положения древнего эрозионного среза относительно рудоконтролирующей части разреза продуктивных формаций, наличия рудоконтролирующих литолого-стратиграфических подразделений и уровней, а также части прямых поисковых признаков.

Схема выявления объекта поисков различными методами

Стадии и под- стадии	Виды и методы работ	Цели работ, выявляемые объекты и факторы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	IA	X	X	X	X		o		o				
	IB	+					o		o				
	IV	+	+	+	+	+	o	o	o	o			
	IG		X	X	X	X	o			o			
	ID						o			o			
По комплексу работ под- стадии I		+	+	+	+	+	+	o	o	o	o		
II	IIA							X	X	o			
	IIБ							X	o	o			
	IIВ							+	+	o	o	o	o
	IIГ							X	o	o			
	IID								X	o			
По комплексу работ под- стадии II								+	+	o	o		
III	IIIA									+	+	o	
	IIIB									X			
По комплексу работ под- стадии III										+	+	o	
IV	IVА												+
	IVБ												X
По комплексу работ под- стадии IV													+
V	VA												+
	VB												X
По комплексу работ ста- дии V													+

Примечания. 1. Обозначение стадий и подстадий поисков, видов и методов работ то же, что на рис. 36.

2. Цели работ, выявляемые объекты и факторы: 1 — потенциально-перспективные части колчеданосных структурно-формационных зон; 2 — вулканогенные молассонды; 3 — базальт-андезит-базальтовая формация; 4 — продуктивные вулканогенные формации; 5 — надрудные положения эрозионного среза; 6 — поля развития кислых дифференциатов; 7 — рудоконтролирующие части разреза; 8 — рудоконтролирующие структуры; 9 — комплекс прямых поисковых признаков; 10 — рудные подсечения; 11 — рудные тела; 12 — промышленно-рудные залежи.

3. Оpoznаваемость объектов поисков: а) в любых обстановках: (+) — одним методом, X — по комплексу с другими методами; б) в благоприятных обстановках: O — одним методом, o — в комплексе с другими методами.



гнозные ресурсы категории  $P_1$ . При значительных запасах и ресурсах обеспечивается переход к следующей стадии.

IV. Предварительная разведка выполняется в соответствии с инструктивными требованиями. Комплекс методов, выполняемых на этой стадии, обеспечивает решение задач предварительной разведки. Основным видом работ является проходка скважин по сети, обеспечивающей получение на части рудных тел запасов категорий  $C_1$  и  $C_2$  (IVA) в комплексе со скважинными исследованиями МЗТ, ДЭМПС, РИЗ, РВП, МПТС (IVB).

Принятые в схеме прогнозно-поискового комплекса параметры поисковой сети (расстояния между сейсморазведочными профилями, между профилями структурно-поисковых скважин и между скважинами в этих профилях) определены из практики работ на Южном Урале. Здесь в условиях слабо дислоцированных вулканогенных толщ поисковая сеть выбиралась с учетом величин площадей рудных полей, размеров рудоконтролирующих палеовулканических структур и разрешающих возможностей скважинных геофизических методов.

При субгоризонтальном залегании вулканогенных толщ площади оконтуренных и детально изученных рудных полей варьируют от 1,8 до 6,5 км<sup>2</sup> при среднем значении 3,2 км<sup>2</sup>. Их доля от опоскованных частей рудных районов составляет соответственно от 6 до 16 % при среднем значении около 14 %. Формы рудных полей близки к прямоугольным с соотношениями величин осей около 1 : 2. Из приведенных данных для условий, сходных с южноуральскими, получают следующие расчетные значения площадей рудных полей, км: минимальное 1,0×1,9; максимальное 1,9×3,5; среднее 1,3×2,5.

Эти значения могут быть приняты в качестве исходных для оценки эффективности поисковой сети с различными параметрами. К изложенному следует добавить, что глубина структурно-поисковых скважин определяется необходимостью перебуривания всей потенциально рудоносной части разреза продуктивных формаций со вскрытием соответствующих рудоконтролирующих уровней и в зависимости от мощности «надрудных» толщ колеблется от 500 до 1500 м.

На подстадии I при сети скважин  $5 \div 10 \times 1 \div 1,5$  км возможен как пропуск рудных полей, так и обнаружение их признаков в одиночных профилях или скважинах. Надежность такой сети повышается использованием метода заряженного тела, обеспечивающего в обычном варианте обнаружение рудных тел на расстоянии 1—2 км от исследуемой скважины, а в варианте «большого заряда» — на удалении от 2,8 до 3,5 км. Однако условием успеха таких работ является вскрытие по крайней мере одной скважиной сульфидоносных метасоматитов серицитолитовой формации, площади выхода которых на рудоконтролирующие поверхности больше (или значительно больше) площадей рудных тел. Вместе с тем даже при неблагоприятном стечении обстоятельств поисковая сеть подстадии I обеспечивает решение ее задач и уточнение направлений последующих работ.

На подстадии II при сети скважин  $2 \div 3 \times 1,5$  и  $0,5 \div 1,0 \times 1,0 \div 1,5$  км возможны пропуски между профилями рудных полей с ми-

нимальными площадями и уверенное их обнаружение в профилях. Постановка метода заряженного тела при благоприятных условиях, отмеченных выше, может обеспечить не только решение задач данной подстадии, но и установление позиций возможных рудных тел.

В условиях крутого залегания рудовмещающих вулканогенных толщ, как это имеет место на Среднем Урале, полные площади развития кислых вулканитов на поверхностях накопления и соответственно площади рудных полей не поддаются достоверной оценке. В проекциях на поверхность напластования площади рудных полей ограничиваются, с одной стороны (по восстанию), эрозионным срезом, а с другой (по падению), — положением наиболее глубоких скважин. В такой обстановке площади хорошо изученных рудных полей Среднего Урала, определенные в проекциях ареалов развития кислых вулканитов на поверхность напластования, колеблются от 0,6 до 2,5 км<sup>2</sup> при среднем значении 1,8 км<sup>2</sup> и соотношении длин по падению и по простиранию, близком 1 : 4. Соответствующие величины, полученные расчетом, составляют, км: минимальное 0,4×1,5; максимальное 0,8×3,0; среднее 0,65×2,8. При расстояниях между профилями структурно-поисковых скважин, принятых выше для подстадии I (5—10 км), возможен пропуск рудных полей всех категорий, на подстадии II — лишь рудных полей с минимальными площадями.

Особого внимания заслуживает вопрос о расстоянии между скважинами в профилях. С учетом современных геолого-экономических условий Урала целесообразно прослеживание потенциально рудоносных уровней до глубины 1200 м от дневной поверхности. Очевидно, что с учетом изменчивого падения вулканогенных толщ для получения перекрытого разреза необходимо вскрытие названных рудоконтролирующих поверхностей по крайней мере еще на одном уровне глубин (500—600 м). Отсюда для подстадий I и II расстояния между скважинами в профилях определяются в 500—600 м (по напластованию). Эти расстояния обеспечивают надежное обнаружение в профилях рудных полей всех категорий площадей.

### Сокращенные варианты

Схема прогнозно-поискового комплекса содержит десять вариантов сокращенного ведения работ, дополняющих основной вариант (см. рис. 36). Их использование основано на возможном решении методами ранних стадий (подстадий) задач последующих стадий (подстадий) в связи с высокой информативностью ряда применяющихся методов исследований. Сокращенные варианты обеспечивают ускоренное выполнение прогнозирования и поисков и повышение эффективности геологоразведочных работ за счет исключения «избыточных» методов и видов работ.

Выбор и обоснование сокращенных вариантов определяются из анализа разрешающих возможностей применяемых методов, выполненного с использованием данных табл. 7. Каждый из сокращенных

вариантов допустим лишь для той конкретной части исследуемого пространства, где достигнуто опережение в выявлении объектов прогноза и поисков. Это не исключает необходимости постановки всех работ прогнозно-поискового комплекса на остальной площади.

Некоторые сокращенные варианты (в качестве примера) рассмотрены ниже.

В а р и а н т 2 отвечает тому случаю, когда комплексом работ подстанции I обеспечивается не только выявление потенциальных рудных полей, но и обнаружение рудоконтролирующих структур. Эта задача разрешается за счет высокой поисковой эффективности сочетания методов подстанции I, их значительными разрешающими возможностями.

В а р и а н т 4 принадлежит к числу «рискованных», поскольку комплекс геофизических методов (IA и IB) может выявить неоднородности поля, не отвечающие рудоконтролирующим структурам.

В а р и а н т 5 обеспечивается высокой информативностью сети структурных скважин, которые и без постановки других методов могут выявить рудоконтролирующие структуры или комплекс прямых поисковых признаков.

В а р и а н т 7 базируется на высокой информативности поискового бурения, геохимических и скважинных геофизических исследований. Прямое получение рудных подсечений может быть более или менее случайным, однако позиция возможных рудных тел относительно данной скважины (скважин) устанавливается с достаточной определенностью.

В а р и а н т 8 принадлежит к числу «рискованных», поскольку сейсморазведочными работами (IIБ) выявляется лишь часть поисковых признаков. Тем не менее это позволяет локализовать работы на определенном участке без постановки методов для выявления объектов 7 и 8.

В а р и а н т 11 предусматривает возможность оконтуривания рудных тел и оценки их масштабов только на основе буровых работ.

Естественно, что сокращенные варианты наиболее эффективны как по геологическим, так и по экономическим результатам. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что выбор сокращенных вариантов должен быть объективно обоснован полным решением задач соответствующих предшествующих стадий и подстадий процесса. Субъективные попытки постановки и решения задач поздних подстадий на ранних подстадиях противоречат принципу последовательного приближения, являющемуся стержнем геологоразведочного процесса. Такие попытки, как правило, приводят к появлению псевдоперспективных площадей, к снижению эффективности поисков, вызывают необоснованное увеличение затрат на поиски и не обеспечивают должной обоснованности выбора наиболее рациональных направлений работ. Экономическая эффективность применения сокращенных вариантов оценивается сопоставлением соответствующих затрат с затратами на работы по основному варианту.

**ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИСТЫХ  
ПЕСЧАНИКОВ И СЛАНЦЕВ**

Медистые песчаники и сланцы представляют единую группу рудных месторождений с близкими геологическими условиями формирования. Одной из главных особенностей рассматриваемых рудных образований является их устойчивая ассоциация с терригенными, карбонатно-терригенными и реже вулканогенно-осадочными толщами красноцветных (пестроцветных) формаций, представляющих накопления преимущественно платформенного, орогенного и посторогенного режимов геотектонического развития территорий. По закономерностям строения и размещения оруденения, подчиненного напластованию вмещающих осадочных пород, руды медистых песчаников и сланцев относятся к стратиформному типу. Широкое площадное развитие руд при их четкой стратификации, многоярусное размещение рудных залежей по мощности разреза осадочных толщ красноцветов, стратиграфический, палеотектонический и палеогеографический контроль оруденения, пластовая и линзообразная формы рудных тел, наличие первичной минеральной и геохимической зональности, отсутствие связи с магматизмом и ясно выраженного структурного контроля в размещении и локализации руд являются наиболее характерными особенностями данной меднорудной формации.

По положению медного оруденения в разных частях фациального профиля красноцветов (терригенно-осадочные накопления континента, переходных зон от континента к морскому бассейну, мелководного морского бассейна), а также особенностям литологического строения меденосных пород, состоящим в преобладании псаммитовых либо алевритовых и известковисто-алевритовых их разновидностей, рассматриваемые месторождения подразделяются на два типа — медистых песчаников и сланцев [35].

Наиболее типичными представителями месторождений медистых песчаников являются такие известные месторождения меди, как Джезказганское и Удоканское (СССР), а медистых сланцев — Мансфельд (ГДР), Предсудетской моноклинали и Северосудетской мульды (ПНР).

**ТИПЫ ПРОВИНЦИИ И МЕДЕНОСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ**

Меденосные провинции с оруденением типа медистых песчаников и сланцев охватывают обширные территории в пределах регионов развития красноцветных (пестроцветных) осадочных толщ. В Центральном Казахстане меденосные отложения встречены в полосе протяженностью 600 км. Медный пояс Замбии — Заира протягивается на 500 км, в Кодаро-Удоканской зоне Восточной Сибири медистые песчаники встречаются на протяжении 150 км, медистые сланцы Ленской провинции прослеживаются на площади, вытянутой более чем на 600 км, Приуральская провинция протягивается вдоль западного

склона Уральского хребта почти на 1500 км, меденосные пестроцветные отложения Центрально-Европейской провинции с месторождениями Мансфельд и Зангерхаузен (ГДР), Предсудетской моноклинали, Гродецкой и Злоторыйской мульд (ПНР) распространены также на территориях ФРГ, Франции, Великобритании.

Выделение меденосных провинций с рассматриваемыми типами медного оруденения в целом для территории СССР произведено в работах Ю. В. Богданова [35] и Л. Ф. Наркелюна [16, 22]. Наиболее важными меденосными провинциями являются Центрально-Казахстанская с Джекказганским месторождением и Олекмо-Витимская с Удоканским и другими месторождениями медистых песчаников. За последние годы выявлена новая перспективная меднорудная провинция с медистыми сланцами на северо-западе Сибирской платформы — Игарская провинция [22].

На остальной части территории СССР проявления формации медистых песчаников и сланцев встречаются во многих районах, распространяясь на значительных площадях, но крупных рудных объектов в их пределах пока не установлено. В европейской части СССР расположены Приуральская (Полярный Урал, Тиман, Приуралье, Южный Урал) и Украинская (Приднестровье, Северное Приазовье, Прикарпатье, Днепровско-Донецкая и Припятская впадины) провинции; на территории Восточной Сибири, кроме вышеупомянутых Олекмо-Витимской и Игарской провинций, — архипелаг Северная Земля, Пьнашарская, Присачинская, Прибайкальская, Ленская, Восточно-Якутская, Приверхоянская, Алтае-Саянская провинции, в Казахстане, помимо Центрально-Казахстанской, — Западно-Казахстанская, а в Средней Азии — Среднеазиатская провинции.

За рубежом наиболее значительными меденосными провинциями с месторождениями типа медистых песчаников и сланцев являются Южно-Африканская (Медный пояс Замбии — Заира), Центрально-Европейская (с месторождениями Мансфельд, Предсудетской моноклинали, Гродецкой и Злоторыйской мульд), Афганская (месторождение Айнак), медно-ванадиево-урановая провинция плато Колорадо (США), штат Мичиган в США (месторождение Уайт Пайн). Медистые песчаники известны в ряде провинций КНР, в Индии, Австралии, на западе Аравийского полуострова, на севере Африки, в Мексике (месторождение Болео) и Боливии (месторождение Коро-Коро).

Оруденения медистых песчаников и сланцев широко распространены по эпохам рудообразования. Месторождения данного типа в красноцветных формациях установлены почти во всех периодах геологической истории — от докембрия до неогена включительно. Выделяются отдельные геологические эпохи с заметно повышенной степенью распространенности этой рудной формации во многих регионах и наличием крупных и уникальных месторождений.

К ним относятся раннепротерозойская (Олекмо-Витимская провинция с Удоканским месторождением), позднепротерозойская (Медный пояс Замбии — Заира, Айнак, Уайт Пайн, месторождения меди в песчаниках и сланцах в КНР и Игарской провинции в СССР), верхнепалеозойская (медистые песчаники девона в Приднестровье и Приазовье, на Тимане, в Минусинских и Тувинских впадинах, Север-

ном Верхоянье и Сетте-Дабане, на архипелаге Северная Земля; карбона — в Центральном Казахстане; перми — в Центрально-Европейской и Приуральской провинциях и Донбасской площади), мезозойская (триасовые медистые песчаники Мангышлака, КНР, Австралии, триасово-юрские медистые песчаники плато Колорадо в США, меловые — Восточной Ферганы и Южно-Таджикской депрессии) и кайнозойская (месторождения в отложениях палеогена Боливии, Северной Испании и неогена — в Северной Фергане и Южно-Таджикской депрессии СССР, а также в КНР и Мексике) геологические эпохи рудообразования.

Для нижнепалеозойской эпохи характерно также распространение оруденения типа медистых песчаников и сланцев, особенно на территории Восточной Сибири. Это прежде всего развитые на обширных площадях медистые сланцы в кембрийских отложениях Ленской и Приангарской провинций, а также проявления медистых песчаников в отложениях кембрия в Присаянье, Прибайкалье, Восточной Якутии, кембрия — ордовика на площадях Иркутского амфитеатра и Ньюско-Березовской впадины и силура в Приверхоянье. В европейской части СССР с данной геологической эпохой связаны рудопроявления медистых песчаников в отложениях нижнего ордовика на Полярном Урале.

По занимаемым позициям в геоструктурах различаются меденосные провинции, располагающиеся на платформах и в складчатых областях [35].

На платформах медистые отложения залегают в составе красноцветных толщ, участвующих в строении осадочных чехлов, а также выполняющих отрицательные структурные формы, развивающиеся при активизации платформенного режима (авлакогены, межгорные и предгорные впадины — прогибы).

В складчатых областях накопление меденосных толщ происходило в основном на этапах завершения геосинклинального цикла в орогенную или посторогенную стадии геотектонического развития и связано с заполнением межгорных, краевых, предгорных прогибов и наложенных впадин красноцветными обломочными, карбонатными и вулканогенно-осадочными формациями [1, 16, 35]. При этом рудные провинции с крупными месторождениями меди располагаются в пределах внешних поясов складчатых областей. В межгорных впадинах внутренних частей складчатых областей в красноцветных формациях отмечены незначительные по масштабам проявления медистых песчаников и сланцев [35]. В миогеосинклиналях в красноцветных осадочных и вулканогенно-осадочных формациях также отмечается меденосность рассматриваемых типов, но значительные концентрации металла не известны (южное обрамление Сибирской платформы, Полярный и Приполярный Урал).

Мировой практикой установлено, что крупные месторождения медистых песчаников и сланцев характерны для рудных провинций, по геоструктурным позициям приуроченных к краевым частям платформ (месторождения ГДР и ПНР), внутриплатформенным прогибам — авлакогенам (месторождения Замбии — Заира, Удоканское), к пост-

орогенным наложенным впадинам (Джезказган, Айнак) и предгорным прогибам внешних поясов складчатых областей.

На площадях меденосных провинций месторождения и рудопроявления нередко бывают сгруппированы в протяженных зонах, прямолинейных или изогнутых в плане. При этом наиболее богатое оруденение относительно приближено к палеоподнятиям, служившим источником обломочного материала рудовмещающих осадочных толщ.

В группе красноцветов меденосные геологические формации имеют широкий диапазон распространения. Встречаясь в разных отмеченных выше геотектонических обстановках, меденосные геологические формации образуют природные ассоциации с красноцветными молассовыми, молассоидными, карбонатно-терригенными, глинисто-карбонатно-песчанистыми, песчано-глинисто-карбонатными и вулканогенно-осадочными формациями складчатых областей и платформ. При этом они характеризуются общностью ряда литогенетических признаков, обусловленных сходством палеогеографических обстановок накопления, независимо от геотектонических позиций регионов развития медистых осадочных пород и их геологического возраста. Меденосность обычно приурочена к интервалам разрезов красноцветов пестрого строения, состоящих из переслаивания серых и окрашенных слоев. Для пестроцветных меденосных толщ характерно формирование в условиях аридного климата с сезонными увлажнениями (умеренного аридного климата), в переходных зонах от континентального к морскому осадонакоплению. В вертикальных и латеральных формационных рядах меденосные пестроцветные толщи обнаруживают парагенетическую связь с эвапоритово-карбонатно-терригенными красноцветами с гипсом, ангидритом и галитом, а также с отложениями полугумидной углисто-красноцветной формации.

По литогенетическим типам и фациальной принадлежности пород, участвующих в строении меденосных геологических формаций, различаются рудные провинции с преимущественно песчаным составом рудоносных толщ с подчиненным значением гравелитов, конгломератов, глинистых и карбонатных пород или с преобладающим глинисто-карбонатно-песчаным и глинисто-карбонатным составом разрезов меденосных отложений, а по обстановкам осадконакопления — приморские аллювиальные равнины, подводные дельты, лагуны, заливы, прибрежно-морское мелководье внутриконтинентальных морей. Обычно в пределах рудных провинций меденосные формации характеризуются полифациальностью. В их строении выделяется комплекс фаций: от континентальных через подводно-дельтовые и заливно-лагунные до прибрежно-морских.

Осадочные породы, слагающие меденосные геологические формации, представлены всеми разностями, обычными для красноцветных толщ: песчаниками, гравелитами, конгломератами, алевrolитами, аргиллитами, мергелями, доломитами, известняками. В регионах с проявлениями вулканизма к ним добавляются туфопесчаники, туфы, эффузивы.

Песчаники, составляющие главную массу отложений меденосных формаций в ряде рудных провинций (Олекмо-Витимская и Центрально-Казахстанская), а также встречающиеся в качестве прослоев в

глинисто-карбонатных толщах многих известных меденосных провинций (Медный пояс Замбии — Заира, Афганская, Центрально-Европейская, Игарская, Ленская, Приангарская) характеризуются сравнительно невысокой степенью дифференцированности состава и размера обломочного материала и представлены в основном полимиктовыми, охватывающими по гранулометрическому составу все классы (от алевритистых до крупнозернистых), разностями. В обломочных зернах преобладают кварц и полевые шпаты (альбит—олигоклаз, олигоклаз — андезин, реже калиевый полевой шпат), часто встречающимися являются обломки метаморфических пород и эффузивов. Среди минералов тяжелой фракции распространены циркон, турмалин, апатит, амфиболы, пироксены, эпидот, гранат, сфен, рутил, ильменит, анатаз, магнетит, гематит. Цемент глинистый, кремнистый, известковистый и смешанный. В олигомиктовых песчаниках, имеющих подчиненное значение, преобладает обломочный кварц.

Алевриты состоят из тех же, что и песчаники, обломочных компонентов размером в пределах 0,005—0,01 мм, рассеянных в глинистой и карбонатно-глинистой массе. Аргиллиты (глинистые породы) обычно песчанисты, в их составе преобладают гидрослюды с примесью хлоритов и монтмориллонита. Мергели, доломиты, известняки, переслаивающиеся в различных соотношениях с песчано-глинистыми породами или встречающиеся в виде единичных прослоев в песчаных толщах, обычно содержат примеси песчаного материала; среди доломитов и известняков нередки строматолитовые, оолитовые и окремненные разности. Конгломераты и гравелиты, содержащие окатанную и угловатую гальку кварца, песчаников, глинистых, кремнистых, карбонатных, метаморфических и магматических пород, сцементированную песчаником, отмечены в составе меденосных формаций во многих регионах. Они образуют значительные накопления в таких геоструктурах, как краевые прогибы и межгорные впадины внутренних частей складчатых областей (Приуральская, Алтае-Саянская, Среднеазиатская провинции); на платформах распространены в основании меденосных толщ (Медный пояс Замбии — Заира, месторождения ГДР и ПНР) или на отдельных интервалах их разреза фациально замещают по латерали тонкообломочные и хемогенные осадочные породы в зонах, прилегающих к палеоподнятиям (Ленская и Приангарская провинции). В виде прослоев и линз конгломераты залегают в составе песчаных толщ (внутриформационные конгломераты в разрезах медистых отложений Джекказгана и Удокана).

Как и в других толщах красноцветов, в строении разрезов меденосных формаций отчетливо выражена ритмичность, проявляющаяся в многократной периодической повторяемости по вертикали пачек пород с определенными литолого-фациальными характеристиками (ритмов); при этом выделяются ритмы различных порядков: от крупных (мощностью в десятки и сотни метров) до более мелких (мощностью в первые метры).

Типичными текстурными особенностями медистых отложений, представленных толщами преимущественно песчаного состава, являются наличие размывов в основании ритмов и поверхностей усыхания в их верхних частях (трещины высыхания, такыры), разнообра-

зие типов слоистости — от горизонтальной до разных форм косо́й слоистости, свидетельствующие о частой смене гидродинамических условий осадконакопления, нередко встречающиеся текстуры подводных оползней и воздушных карманов, остатки организмов и обугленные растительные остатки, псевдоморфозы по кристаллам гипса и ангидрита.

В глинисто-карбонатно-песчаных и глинисто-карбонатных меденосных толщах наиболее распространены горизонтально-слоистые текстуры пород, отмечаются также поверхности напластования со знаками ряби и трещинами высыхания; для слоев песчаников, наряду с горизонтальной слоистостью, характерно развитие разнообразных типов косо́й слоистости.

Пестроцветность разрезов, обусловленная переслаиванием осадочных пород с различными оттенками красной окраски за счет тонкораспыленных или пленочных соединений окисного железа (главным образом гематита) и серого цвета с преобладающим закисным железом, является весьма характерной особенностью меденосных формаций. Рудная минерализация, как правило, концентрируется в слоях серого цвета и практически исчезает при сокращении доли их участия в строении рудоносных толщ по мощности или латерали.

Осадочные породы древних (докембрийских) меденосных формаций под воздействием главным образом регионального метаморфизма превращены в различные сланцы, кварциты, кварцитовидные песчаники, мраморы. Одновременно ими в значительной степени утрачены красные окраски вследствие перехода окисного железа в его закисную форму (нижнепротерозойская меденосная удоканская серия Кодаро-Удоканской зоны, верхнепротерозойские медистые породы Замбии — Заира).

Толщи терригенно-осадочных пород, слагающие меденосные геологические формации, достигают весьма значительных мощностей, особенно в авлакогенах, межгорных прогибах и наложенных впадинах. В Кодаро-Удоканском прогибе мощность меденосной толщи составляет примерно 9,5 тыс. м, в авлакогене Медного пояса Замбии — Заира 1000 м, в Тениз-Сарысуйской впадине Центрального Казахстана приблизительно 1000 м, а в наложенной мульде в пределах Кабульского блока 880 м (Айнак). В платформенных чехлах мощности рудоносных формаций сокращаются до десятков и первых сотен метров, а в ряде случаев могут достигать 1000 м (Сибирская платформа).

Меденосные провинции обычно охватывают всю территорию распространения разновозрастных или разновозрастных меденосных формаций, либо ее часть. При этом медистые отложения могут проследиваться непрерывно по всей площади провинции (платформенные чехлы) или залегать в определенных структурах, пространственно разобщаясь. Неравномерность распределения оруденения и его локализация на отдельных площадях в пределах провинций (авлакогены, прогибы, впадины, мульды) обуславливают выделение меденосных зон и районов. Последние составляют части меденосных зон и ограничиваются структурами второго и более высоких порядков, в строении которых установлены меденосные отложения (синкли-

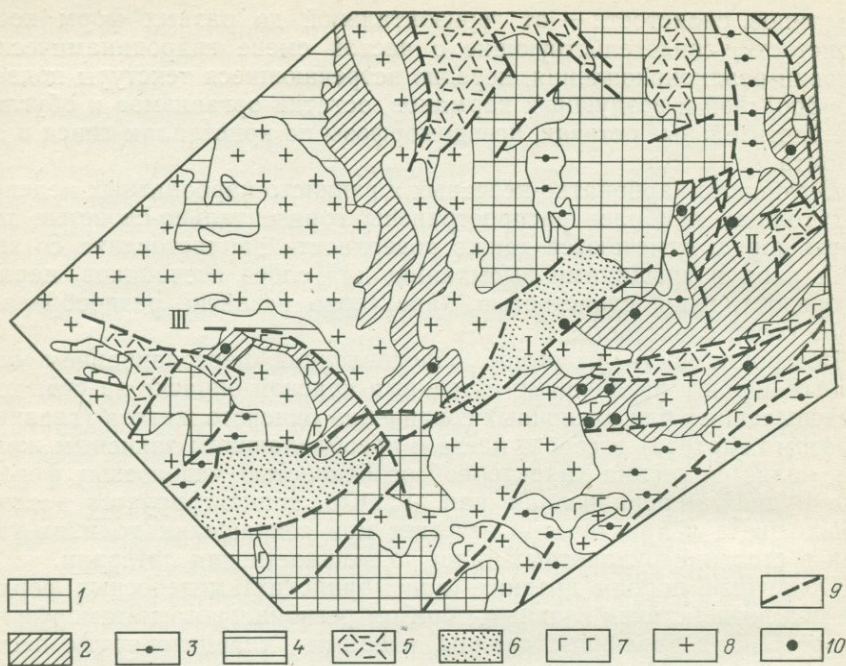


Рис. 37. Схема строения Олекмо-Витимской меденосной провинции [16, 22].

1 — выступы кристаллического фундамента; 2 — пестроцветные терригенные и карбонатно-терригенные формации протоплатформенных прогибов; 3 — раннепротерозойские гнейсы, гранито-гнейсы, кристаллические сланцы; 4 — верхнепротерозойские терригенные и карбонатно-терригенные отложения; 5 — осадочные образования вендско-нижнекембрийского платформенного чехла и мезозойских впадин; 6 — рыхлые отложения кайнозойских впадин; 7 — интрузивы основного состава; 8 — граниты, гранодиориты, граносениты; 9 — разрывные нарушения; 10 — месторождения и рудопроявления типа медистых песчаников. Меденосные зоны: I — Кодаро-Удоканская, II — Олекмо-Токкинская, III — Средневитимская

нории, синклинали, мульды, антиклинали), а также площади распространения благоприятных для меденакопления фациальных комплексов осадков.

В качестве примеров приведены особенности строения и размещения меденосности для трех рудных провинций, приуроченных к различным геологическим структурам — Олекмо-Витимской, Центрально-Казахстанской и Центрально-Европейской (рис. 37—39).

В Олекмо-Витимской провинции (см. рис. 37) выделяют Кодаро-Удоканскую, Олекмо-Токкинскую и Средневитимскую меденосные зоны, приуроченные к обособленным прогибам типа авлакогенов.

В Кодаро-Удоканской зоне выделяются четыре меденосных района: Намингинский, Икабья-Читкандинский, Бурпалинский и Сьюлбанский, каждый из которых соответствует крупным синклинорным структурам и характеризуется различной степенью развития меденосности, обусловленной как различиями в уровнях эрозионных срезов территорий и участием в связи с этим в строении структур отложений меденосной удоканской серии разных стратиграфических уровней, характеризующихся различной интенсивностью оруденения, так и от-

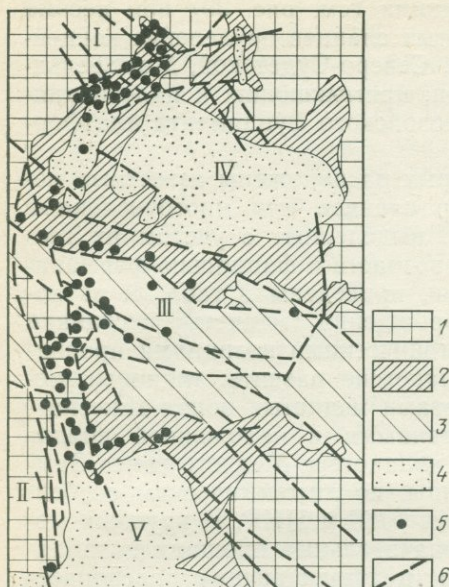


Рис. 38. Схема строения Центрально-Казахстанской меденосной провинции [36].

1 — складчатые комплексы архейско-нижнепалеозойского возраста (I — Кокчетавский антиклинорий, II — Улутауский антиклинорий); 2 — верхнепалеозойские пестро-красноцветные формации в зонах брахискладчатых и линейных структур; 3 — верхнепалеозойские пестро-красноцветные формации Сарысу-Тенизского поднятия (III); 4 — красноцветные верхнепалеозойские формации Тенизской (IV) и Сарысуиской (V) впадин; 5 — месторождения и рудопроявления меди; 6 — разрывные нарушения

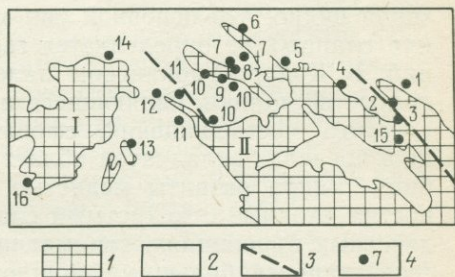


Рис. 39. Схема расположения медистых сланцев в Центрально-Европейской провинции [19].

1 — складчатые герцинские области (I — Чешский массив, II — Рено-Герцинская зона); 2 — чехол платформы с палеозойским фундаментом; 3 — разрывные нарушения, 4 — месторождения и рудопроявления медистых сланцев в отложениях цехштейна (цифры на рисунке): 1 — Предсудетская моноклинали, 2 — Гродзкая мулда, 3 — Злоторийская мулда, 4 — Шпремберг-Вайсвассер, 5 — Брандербург, 6 — Флехтингенский вал, 7 — Субгерцинский бассейн, 8 — Мансфельдская мулда, 9 — Зангерхаузен, 10 — Тюрингский бассейн, 11 — область Верра, 12 — Гессен, 13 — Рейнская область, 14 — Штатберг, 15 — Внутренняя Судетская мулда, 16 — Саар-Луй

личиями в литолого-фациальном строении осадочных толщ, существенно влияющих на их меденосность.

В Центрально-Казахстанской провинции (см. рис. 38) в качестве меденосных зон выделяются Сарысу-Тенизское поднятие, Тенизская и Сарысуиская впадины [32, 36]. Рудными районами являются Джекказганский, включающий рудные поля Джекказганского и Северной группы (Итауз, Сары-Оба и др.) месторождений, Терсаккан-Атбасарский на севере провинции.

При развитии медистых отложений в платформенных чехлах с широким площадным распространением меденосные зоны ограничиваются территориями, наиболее благоприятными для меденакопления — конседиментационными прогибами, прилегающими к палеоподнятиям, а также площадями развития меденосных фациальных комплексов отложений.

В Центрально-Европейской провинции (см. рис. 39) при весьма широком площадном развитии медистых сланцев оруденение концентрируется в пределах Предсудетской, Северо-Судетской, Мансфельдской и Тюрингинской меденосных зон, примыкающих к палеоподнятиям, представляющим выступы палеозойского фундамента платформы [19].

Типы провинций, в пределах которых расположены известные месторождения медистых песчаников и сланцев или многочисленные рудопроявления меди данных типов, выделенные с учетом их геоструктурных позиций, геологического возраста и фациально-формационных особенностей меденосных толщ, приведены в табл. 8, из которой видно, что основной тип месторождения (медистые песчаники или сланцы) не определяется геотектоническими позициями провинций. В Кодаро-Удоканском палеоавлакогене развиты типичные медистые песчаники, являющиеся аналогами медистых пород Джеккаганского месторождения, сформированными в наложенной впадине в пределах складчатой области. В авлакогене Медного пояса Замбии — Заира развиты медистые сланцы, по литологическим особенностям сходные с медистыми сланцами ГДР и ПНР. В крупных меденосных провинциях, занимающих значительные площади и характеризующиеся большими мощностями рудовмещающих красноцветных толщ, обычно встречаются оба типа оруденения — медистые песчаники и сланцы. Например, в рудовмещающей толще месторождения Айнак, наряду с песчанистыми породами, распространены доломиты и сланцы [38]. В отложениях платформенных чехлов и предгорных прогибов промышленное оруденение представлено, как правило, медистыми сланцами (Центрально-Европейская и Игарская провинции). Обращает также внимание, что типичные медистые песчаники распространены в основном на территории СССР; данный тип руд представляет промышленные месторождения — Джеккаганское и Удоканское. В других провинциях мира промышленные месторождения связаны с глинисто-карбонатно-песчаными и глинисто-карбонатными толщами, т. е. более распространенным является тип медистых сланцев.

Следует отметить еще одну геологическую особенность, весьма характерную для подавляющего большинства рудных провинций, заключающуюся в отсутствии на их территориях проявлений более молодого по отношению к медистым породам интрузивного магматизма, хотя признаки эффузивной деятельности широко известны. Исключение составляет Олекмо-Витимская провинция, где в Кодаро-Удоканской рудной зоне нижнепротерозойская меденосная толща интрузивами кислого и основного состава [15].

#### ПОЛОЖЕНИЕ ОРУДЕНЕНИЯ В РАЗРЕЗАХ ФОРМАЦИИ

Медистые пестроцветные отложения (меденосные геологические формации), накапливающиеся в особых геотектонических и палеогеографических условиях, существовавших в областях денудации и седиментогенеза, занимают определенное положение в вертикальном и

латеральном формационных рядах красноцветных толщ. Во многих рудных провинциях в результате цикличности геотектонических и палеогеографических режимов меденосные пестроцветные формации неоднократно повторяются в разрезах осадочных толщ, поэтому медистые песчаники и сланцы встречаются на нескольких стратиграфических уровнях, причем вертикальный размах развития медного оруденения может быть весьма значительным (Кодаро-Удоканская зона в Восточной Сибири, Центрально- и Западно-Казахстанская провинция и др.).

В общей схеме формирования красноцветов, состоящей в заполнении структур прогибания продуктами механического и химического выветривания, привносимые из областей сноса, испытавших обновление рельефа в связи с оживлением тектонических движений, при существенной аридизации климата, пестроцветные меденосные формации соответствуют условиям седиментогенеза, происходившего вслед за пенепленизацией рельефа и относительным усилением химического выветривания на площадях денудации при замедлении скорости прогибания бассейна седиментации, обуславливающей в течение длительных периодов существование на конкретных территориях благоприятных для меденакпления фациальных обстановок.

В разрезах красноцветов медистые отложения залегают в основании, либо в средних и верхних частях их толщ, фиксируя начальные этапы возобновления тектонической активности или периоды затухания тектонических движений [1, 35]. При этом накопление меденосных осадков происходит как при трансгрессивных, так и регрессивных режимах седиментации, но всегда с четко выраженной связью оруденения с определенными фациальными комплексами отложений.

На основании данных, полученных при изучении особенностей фациального строения медистых отложений многих рудных провинций (см. табл. 8), установлено, что медное оруденение локализуется преимущественно в терригенных и глинисто-терригенно-карбонатных осадках прибрежно-морской зоны заливов и лагун, включающих нередко в состав накопления подводно-дельтовых выносов [1, 35]. По латерали в сторону континента меденосные отложения фациально замещаются безрудными красноцветами, накапливавшимися в условиях аллювиальных приморских равнин, а в направлении углубления палеобассейна — карбонатно-терригенными сероцветами, не содержащими также медного оруденения. В континентальных обстановках медистые отложения связаны с сероцветными пойменными, русловыми, озерно-старичными осадками, залегающими внутри красноцветов.

Направленность тектонических движений играет важную роль в формировании месторождений меди и определении их типов. В трансгрессивные фазы развития палеобассейна накапливались в основном глинистые и глинисто-карбонатные мелководные прибрежно-морские осадки с медной минерализацией — медистые сланцы, а в регрессивные — заливно-лагунно-дельтовые или аллювиально-озерные медистые отложения — медистые песчаники.

Оруденение типа медистых сланцев, заключенное в отложениях, сформировавшихся в условиях морской трансгрессии, приурочено к

Типы провинций и меденосные геологические формации

	Геотектоническая позиция	Геологический возраст	Формации	Литолого-фацнальное строение меденосных толщ	Провинция; тип месторождения; месторождение
Платформы	Внутри-платформенные прогибы: а) палео-авлакогены	Раннепротерозойский	Молассоидная пестроцветная	Алеврито-песчаные, карбонатно-алеврито-песчаные отложения подводных дельт, лагун, заливов и прибрежно-морского мелководья	Олекмо-Витимская; медистые песчаники; Удоканское и др. месторождения Кодаро-Удоканской зоны, рудопроявления Олекмо-Токкинской зоны
	б) авлакогены	Позднепротерозойский	Пестроцветная алеврито-песчано-карбонатная	Глинистые сланцы, доломитовые сланцы, кварциты, песчаники; заливно-лагунные и подводно-дельтовые отложения	Южно-Африканская (Медный пояс Замбии — Заира); медистые сланцы, реже медистые песчаники; Роан Антелопе, Нкана, Муфулира, Чамбиши и др.
	Чехол краевых частей платформ	Средневерхнекембрийский	Пестроцветная алевропелитово-карбонатная	Доломиты, мергели, алевролиты, аргиллиты, строматолитовые известняки, песчаники; лагунные и мелководно-морские отложения	Ленская и Приангарская; медистые сланцы
То же	Верхнепермский	Пестроцветная глинисто-песчано-карбонатная	Сланцы, известняки, доломиты, мергели, песчаники, конгломераты; отложения заливов и лагун и прибрежно-морского мелководья	Центрально-Европейская; медистые сланцы; Мансфельд, Зангерхаузен. Предсудетская моноклираль, Гродецкая и Злоторыйская мульды. Приуральская; медистые сланцы и песчаники; месторождения и рудопроявления Приуралья	
»	»	Пестроцветная терригенная	Песчаники, гравелиты, конгломераты, алевролиты; русловые, пойменные, озерно-старичные отложения		
Складчатые области	Наложённые впадины в краевых частях складчатых областей	Позднепротерозойский	Пестроцветная терригенно-карбонатная	Доломит-кварц-полевошпатовые породы, доломитовые мраморы, углистые карбонатно-биотит-кварцевые и серицит-кварцевые сланцы, микрокварциты, мраморы; лагунно-дельтовые отложения	Афганская (Кабульский блок); медистые песчаники; Айнак
	То же	Карбоновый	Пестроцветная алеврито-песчаная	Песчаники, алевролиты, гравелиты, кремни; лагунно-дельтовые отложения	Центрально-Казахстанская; медистые песчаники; Джезказган и др.
	Предгорные прогибы	Позднепротерозойский	Пестроцветная глинисто-песчано-карбонатная	Аргиллиты, известняки, мергели, доломиты, песчаники, сланцы; лагунные и прибрежно-морские отложения	Игарская; медистые сланцы; Гравийское месторождение
	Наложённые межгорные впадины внутренних частей складчатых областей	Девонский	Пестроцветная алеврито-песчаная и известково-песчано-алевритовая	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, мергели, известняки, конгломераты; русловые, озерно-старичные и мелководно-морские отложения	Алтае-Саянская; медистые песчаники и сланцы; рудопроявления Минусинской и Тувинской впадин
	То же	Пермтриасовый	Пестроцветная терригенная и карбонатно-терригенная	Песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, известняки, мергели, мелководно-морские отложения	Западно-Казахстанская; медистые песчаники; рудопроявления Мангышлакской зоны
	»	Мезокайнозойский	Красноцветная молассовая, пестроцветная терригенно-карбонатная	Песчаники, алевролиты, глины, мергели, конгломераты; континентальные и мелководно-морские отложения	Среднеазиатская; медистые песчаники; месторождения и рудопроявления Южно-Таджикской и Ферганской впадин

нижним частям разреза трансгрессивных фаций и залегает непосредственно выше красноцветов или подстилается породами фундамента.

Типичным примером особенностей строения и локализации меденосных отложений трансгрессивной фазы является разрез верхнепермских отложений цехштейна (ПНР) [19]. В Северосудетской мульде и Предсудетской моноклинали отложения цехштейна (конгломераты, сланцы, известняки, доломиты, мергели, песчаники) залегают на красноцветных песчаниках, конгломератах, аркозах, сланцах и вулканогенных породах нижнепермского возраста («красный лежень») и перекрываются триасовыми песчаниками, алевролитами, сланцами, мергелями, доломитами, ангидритами. Медное оруденение, заключенное в отложениях нижнего и среднего цехштейна и в Северосудетской мульде, приурочено к мергелям с повышенным содержанием органического углерода в мергелисто-известковистых слоях, а в Предсудетской моноклинали — к горизонту черных битуминозных доломитовых и мергелистых сланцев и к нижней части доломитово-известковистой толщи (мощностью 80 м). Кроме того, в Предсудетской моноклинали медное сульфидное оруденение встречается в светло-серых песчаниках, залегающих в верхней части разреза нижнепермских отложений «красного лежня». Перекрывающий разрез верхнего цехштейна мощностью около 200 м содержит слои ангидрита и пласты каменной соли, представляя типичную эвапоритовую толщу.

Строение разреза верхнепротерозойских меденосных отложений системы Катанга на территории Медного пояса Замбии — Заира, сформировавшихся также при трансгрессивном режиме развития бассейна седиментации, обнаруживает сходство с приведенным выше [18, 35].

В районе рудного поля месторождения Роан Антелопе (Замбия) отложения рудной формации общей мощностью 17—55 м, сложенные «загрязненными» (с высокими содержаниями кварца и слюды) доломитами и рудными сланцами, подстилаются конгломератами, аргиллитами, кварцитами, имеющими частично эоловое происхождение, составляющими подрудную толщу, которая с размывом залегает на породах основания. Рудоносные отложения перекрываются аргиллитами, кварцитами, доломитами, галечниковыми аркозами и полевошпатовыми кварцитами. В целом перечисленные породы, включающие рудоносные отложения, слагают группу Нижний Роан общей мощностью 440—600 м. Выше по разрезу залегают пятнистые доломиты, аргиллиты, кварциты группы Верхний Роан мощностью 550—560 м, которые перекрыты углистыми сланцами группы Мвашия, вверх по разрезу сменяющиеся ледниковыми конгломератами (тиллитами) серии кунделунгу.

В Ленской и Приангарской рудных провинциях меденосные формации, представленные карбонатными и глинисто-карбонатными отложениями лагунных, заливно-лагунных и мелководно-морских фаций, залегают на нескольких стратиграфических уровнях и приурочены главным образом к нижним частям ритмов средне-верхнекембрийской аридной пестро-красноцветной толщи [16, 19].

В Игарской рудной провинции меденосные формации, сложенные пестроцветными известково-алевритистыми и доломитово-известковистыми породами, установлены в основаниях вендских красноцветной излучинской и преимущественно сероцветной с признаками эвапоритового осадконакопления сухарихинской свит [22].

Другой тип строения разрезов меденосных толщ характеризует их накопление в условиях общих регрессивных режимов развития палеобассейнов. Рудные накопления в данных обстановках локализованы в сероцветных заливно-лагунных, подводно-дельтовых и аллювиально-озерных фациальных комплексах и, как правило, многоярусны, располагаясь кулисообразно в терригенных толщах, достигающих значительных мощностей. Причем существенную часть медистых пород составляют песчаники. Такое строение рудоносных толщ весьма характерно для месторождений медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны и Жезказганского района.

Кодаро-Удоканская зона, в структурном отношении представляющая грабенообразный прогиб типа палеоавлакогена, заложенный в пределах позднеархейской протоплатформы, характеризуется развитием мощной (14 тыс. м) толщи терригенных пород удоканской серии нижнепротерозойского возраста. В истории накопления этой толщи установлены три основных цикла, фиксирующихся трансгрессивным режимом образования осадков на начальных стадиях и общей регрессией бассейна в завершающий этап формирования каждого цикла [16, 35]. Медистые песчаники генетически и пространственно связаны с верхней и нижней молассоидными пестроцветными формациями, составляющими среднюю (чинейская подсерия) и верхнюю (кеменская подсерия) части разреза удоканской серии [16, 35]. Меденосные горизонты заключены в пестроцветных песчано-алевритовых формациях и приурочены к мелководным заливно-лагунным фациальным комплексам, включающим накопления подводно-дельтовых выносов, а также в осадках мелководных периодически пересыхающих лагун. Первый фациальный комплекс характеризуется преимущественно песчаным составом отложений и содержит руды типа медистых песчаников с многоярусным распределением по мощности разрезов; во втором — преобладают алевритистые разности пород, кварциты, отмечаются прослои доломитов, известняков. Меденосные горизонты при относительно незначительных мощностях имеют широкое площадное распространение, по типу оруденение близко к медистым сланцам [15]. Такие меденосные горизонты встречены в составе отложений верхних интервалов разрезов средней и верхней молассоидных формаций — александровской, бутунской и намингинской свитах, обладающих признаками накопления при относительно засушливом климате.

В Центрально-Казахстанской провинции накопление вулканогенно-осадочных, карбонатных и меденосных пестроцветных формаций происходило в два подэтапа [36]. Первый подэтап, охватывающий период с середины среднего девона до нижнего карбона, характеризовался формированием вулканогенно-осадочной и карбонатных формаций в режиме общего погружения территории. Второй подэтап, начавшийся в среднем карбоне, развивался в обстановке общего

воздымания и сопровождался формированием карбонатно-терригенных и терригенных красноцветных и пестроцветных формаций, представлявших мелководно-морские, заливно-лагунные, аллювиально-дельтовые и континентальные комплексы осадков. С пестроцветными формациями, образовавшимися в условиях поднятия территории, связаны наиболее значительные месторождения медистых песчаников Центрального Казахстана. Самой продуктивной является джезказганская свита, представляющая пестроцветную песчано-алевритовую формацию мощностью 650—1100 м, по геологическому возрасту охватывающая интервал от намюра до нижней перми. Литологическое строение свиты характеризуется переслаиванием серых песчаников и красноокрашенных песчаников и алевролитов, встречаются прослойки аргиллитов и конгломератов. Разрез имеет ритмичное строение. В каждом ритме крупно- и грубозернистые песчаники вверх по разрезу сменяются мелкозернистыми песчаниками и алевролитами. Ритмы разделяются поверхностями размылов.

Медное оруденение многоярусно и локализуется в пачках сероцветных пород. В пределах Джезказганского рудного поля оно развито в отложениях от нижне- до верхнекарбонического возраста в девяти рудоносных горизонтах [36]. В северном борту Джезказганской синклинали (Джиландинская группа месторождений) оруденение встречается только в нижней части разреза свиты. Руды представлены типичными медистыми песчаниками.

Меденосные отложения джезказганской свиты выше по разрезу перекрываются эвапоритовой красноцветной формацией, сложенной породами жиделисайской и кенгирской свит, содержащих пачки гипса, ангидрита, галита.

В красноцветных отложениях девонского возраста, отлагавшихся в режиме погружения региона, в течение первого подэтапа геотектонического развития в условиях трансгрессий отмечены рудопроявления типа медистых сланцев в зоне перехода от девонских красноцветов в карбонатные толщи фамен-карбона, а также меденосные пачки в отложениях девона с рудопроявлениями типа медистых песчаников.

Рудоносная формация, вмещающая медное оруденение месторождения Айнак (Кабульский блок), также отлагалась при воздымании территории и обмелении бассейна седиментации, сменившей трансгрессивный режим, характеризовавшийся накоплением конгломератов нижнего горизонта рудоносной свиты лойхвар [38]. Породы, слагающие формацию, представлены терригенными и карбонатно-терригенными разностями, образующими толщу мощностью около 300—370 м, которая подстилается и перекрывается доломитовыми мраморами, практически безрудными. Основная часть руд сосредоточена в пачке доломит-кварц-полевошпатовых пород мощностью от 10 до 180 м, наиболее богатое оруденение содержится в грубозернистых породах с повышенной карбонатностью; в тонкозернистых разностях терригенных пород интенсивность оруденения снижается. Медная минерализация отмечается также в низах пачки серицит-кварцевых сланцев, местами обогащенных углистым веществом. По условиям отложения рудоносные породы месторождения относятся к лагунно-

дельтовым фаціальным комплексам и частично к лагунным. Преобладающим типом руд на месторождении являются медистые песчаники, некоторая их часть, особенно в подстилающей и перекрывающей главную рудную залежь пачках, имеет сходство с медистыми сланцами.

Меденосные отложения свиты лойхвар перекрываются вулканогенными образованиями комплекса Гульхамид.

Совмещение двух типов разрезов меденосных толщ (карбонатно-глинистого и существенно песчанистого) неоднократно наблюдается в ряде рудных провинций. Иногда при преобладающем оруденении, заключенном в сланцах, и общем трансгрессивном режиме осадконакопления при формировании меденосных толщ на отдельных участках регионов медистые отложения могут быть представлены песчаниками, содержащими крупные рудные залежи, а тип оруденения — медистыми песчаниками с характерным многоярусным размещением рудных залежей. Примером служит месторождение Муфулира, расположенное в Медном поясе Замбии — Заира, находящееся в северо-восточной полосе рудных объектов пояса, приближенных к береговой линии палеобассейна [18].

Рудовмещающими породами являются серые кварциты, имеющие большую мощность и меньшее площадное распространение, чем рудные сланцы. Медное оруденение представлено тремя главными рудными телами, расположенными на трех горизонтах. Мощности рудных тел меняются в пределах от 6 до 23 м.

Приведенные типы разрезов меденосных формаций свидетельствуют о том, что преобладание в их составе песчанистых пород с оруденением типа медистых песчаников соответствует регрессивному режиму осадконакопления с развитием подводно-дельтово-лагунных фаціальных комплексов осадков, а преимущественное распространение карбонатно-глинистых образований с медистыми сланцами — трансгрессивному режиму с развитием заливно-лагунных и мелководно-морских фаций. Наблюдающиеся отклонения связаны с изменениями фаціальных обстановок накопления осадков на отдельных площадях провинций.

## МОРФОЛОГИЯ И СТРОЕНИЕ РУДНЫХ ТЕЛ

Морфология и строение рудных тел рассматриваемых двух типов месторождений меди — медистых сланцев и медистых песчаников существенно различны.

Для месторождений типа медистых сланцев, приуроченных к заливно-лагунным и мелководно-морским осадочным толщам, характерны рудные тела пластовой и пластообразной формы. Размеры их весьма значительны: длина и ширина измеряются от первых до десятков километров. Мощности рудных тел относительно небольшие — от десятков сантиметров до первых метров и редко более 10 м. Границы рудных тел с вмещающими их породами постепенные и определяются результатами опробования. Наблюдается смещение рудных тел в разрезе в определенном направлении в соответствии с изменением фаціального профиля слагающих рудовмещающую толщу

отложений. Рудные тела залегают согласно с вмещающими породами, в дислоцированных толщах участвуют в строении складчатых структур и блоковых перемещениях. Содержания полезных компонентов выдержанные.

Месторождения типа медистых песчаников обладают рудными телами линзо- и пластообразной форм. Длина их измеряется сотнями метров и первыми километрами, мощности могут достигать более 100 м. Форма рудных тел изменчива, линзообразные залежи нередко сменяются лентообразными и мелкими изометричными рудными телами. Характерно многоярусное кулисообразное залегание рудных тел в меденосной толще, обусловленное возрастным скольжением рудоносных осадков по мощности разреза. Содержания меди подвержены значительным колебаниям даже в пределах одного рудого тела. Контуры промышленных руд устанавливаются данными опробования. Из-за невыдержанности содержаний границы рудных тел нередко имеют секущее положение по отношению к напластованию вмещающих пород.

В обоих типах месторождений отмечаются также секущие рудные тела, приуроченные к тектонически ослабленным зонам. Такие рудные тела характеризуются высокими содержаниями металла, но имеют незначительные масштабы и не играют существенной роли в общем балансе запасов рудных объектов.

Вещественный состав руд месторождений типа медистых песчаников и сланцев, расположенных в различных меденосных провинциях или зонах, существенно различается. Отдельные месторождения характеризуются довольно простым составом руд (Удоканское и др. месторождения медистых песчаников Кодаро-Удоканской зоны). Большая часть месторождений полиметалльна (Джезказганское, медные руды Замбии, Заира, ПНР, ГДР). Из числа наиболее характерных элементов руд медистых песчаников и сланцев можно указать на свинец, цинк, кобальт, рений и др.

Обычными минералами в составе руд медистых песчаников и сланцев являются халькозин, борнит и халькопирит, реже встречаются блеклые руды и ковеллин. В тесной ассоциации с ними находятся сульфиды железа (пирит, марказит, пирротин), а также свинца, цинка, кобальта, никеля, серебра, мышьяка, молибдена, самородная медь и др.

Для месторождений типа медистых песчаников и сланцев характерно закономерное чередование по мощности и латерали медистых отложений халькозиновой, борнит-халькозиновой, борнит-халькопиритовой, халькопиритовой и пирит-халькопиритовой минерализации, а также типов руд, различающихся по составу полезных компонентов, образующих первичную минеральную и минерально-геохимическую зональность.

Минеральная зональность наиболее отчетливо проявлена на месторождениях типа медистых сланцев, в которых наблюдаются зоны с различным минеральным составом, ориентированные параллельно линиям палеоберега (месторождения Замбии — Роан Антелопе, Балуба и др., Мансфельд, Предсудетская моноклинали). В месторождениях медистых песчаников первичная минеральная зональность бо-

лее сложная, морфология минеральных зон нередко меняется на различных горизонтах месторождений (Удоканское, Джекказганское). Устанавливается связь минерального состава руд с фациальными типами рудовмещающих пород: к лагунным и заливно-лагунным осадкам чаще приурочены пирит-халькопиритовые руды, которые располагаются на обращенных в сторону палеобассейна внешних частях подводно-дельтовых выносов, содержащих борнит-халькозиновую минерализацию.

Первичная минерально-геохимическая зональность наблюдается в полиметалльных месторождениях и проявлена в пространственном разобщении концентраций меди, свинца и цинка. Для Джекказганского месторождения свинцово-медные руды наиболее типичны в составе нижней и средней групп рудных залежей [36]. В Предсудетской моноклинали свинец и цинк приурочены обычно к карбонатным породам, причем медь тяготеет к нижним горизонтам, свинец — к средним, а цинк располагается в верхних частях рудного пласта [19]. Зональность в распределении концентраций меди, свинца и цинка, наблюдающаяся на месторождениях медистых песчаников и сланцев, связывается с преимущественной приуроченностью сульфидов меди к более мелководным прибрежным частям палеобассейна и в постепенной смене медной минерализации по направлению в глубь бассейна сначала свинцовыми, а затем цинковыми рудами [1, 35].

Вторичная минеральная зональность, представленная зонами окисления и цементации, проявлена на многих месторождениях меди рассматриваемых типов. Морфология и интенсивность развития зон вторичной минерализации зависит от климатических, геоморфологических и тектонических факторов. Следует отметить, что развитие карбонатного цемента песчаников и наличие карбонатных рудовмещающих пород препятствует формированию зоны вторичного сульфидного обогащения на многих объектах, на которых зона окисления переходит непосредственно в первичные руды.

## **ОСНОВНЫЕ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ. ТИПОВЫЕ МОДЕЛИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

В качестве основных рудоконтролирующих факторов, установленных многолетней практикой поисков и разведки месторождений типа медистых песчаников и сланцев, рассматриваются стратиграфический, палеогеографический, палеотектонический, литологический и минерально-геохимический контроль медного оруденения. Затрагиваются также вопросы влияния на размещение и локализацию руд структурного и магматического контроля, эпигенетических и метаморфических процессов.

Стратиграфический контроль оруденения четко проявлен как в региональном плане, что дает возможность выделять наиболее благоприятные для нахождения месторождений меди геологические эпохи, так и локально в конкретных рудных провинциях, зонах, рудных узлах и полях. Данный рудоконтролирующий фактор в его локальном понимании выражается в широком площадном распространении медистых отложений, образующих стратиграфически выдержан-

ные меденосные горизонты, в многоярусном развитии медистых пород по разрезу пестроцветов и кулисообразном расположении рудных тел в пределах меденосных отложений. Стратифицированность медного оруденения обосновывает правомочность выделения в составе пестроцветных толщ продуктивных стратиграфических уровней (свит, подсвит, горизонтов), наиболее перспективных на обнаружение медистых горизонтов и рудных залежей.

Палеотектонический режим, определявший скорость и направленность тектонических движений, а также палеогеографические обстановки, включавшие характер климата и рельефа в областях седиментогенеза и денудации, являются важными рудоконтролирующими факторами, поскольку с ними связаны особенности формирования и размещения по вертикальному профилю и латерали пестроцветных толщ рудоносных фациальных комплексов отложений, тип и масштабы оруденения.

Месторождения медистых сланцев локализируются в заливно-лагуновых и мелководных прибрежно-морских осадках, отлагавшихся в трансгрессивную стадию развития палеобассейна. Обычно они приурочены к различным впадинам морского дна типа конседиментационных мульд.

Крупные месторождения типа медистых песчаников встречаются также в прибрежно-морских обстановках и локализируются в сложно сочетающихся фациальных комплексах подводно-дельтовых и заливно-лагунных отложений, накапливавшихся главным образом в регрессивную фазу развития палеобассейна.

Располагаясь в прибрежной зоне палеобассейна, месторождения медистых песчаников и сланцев образуют в ряде провинций ориентированные параллельно береговой линии пояса, достигающие значительной протяженности (Медный пояс Замбии — Заира).

Медистые песчаники в континентальных аллювиально-озерных фациальных комплексах распространены на весьма значительных площадях (Приуральская провинция), но образуют небольшие по размерам рудные тела сложной морфологии, подчиняющиеся форме русел, старичных озер.

Литологический контроль оруденения медистых песчаников и сланцев проявляется прежде всего в его приуроченности к пестроокрашенным толщам осадочных пород в составе красноцветов и локализации руд в сероцветных породах.

В месторождениях медистых сланцев оруденение заключено в аргиллитах, сланцах, мергелях, доломитах, известняках, реже в песчаниках. Породы, как правило, характеризуются высокими содержаниями (0,3—4,3 %) остаточного органического углерода [19]. Карбонатные породы характеризуются наличием примеси терригенного материала.

В месторождениях медистых песчаников рудоносными являются сероцветные песчаники. Для красноцветных и глинистых разностей пород оруденение не характерно.

На Джеккаганском месторождении рудные тела заключены в прослоях серых мелко- и среднезернистых песчаников с кварц-полевошпатовым составом обломочных зерен [36]. На Удоканском место-

рождении медное оруденение содержится в алевропесчаниках, тонко-, мелко- и среднезернистых песчаниках. Для данного месторождения многими исследователями отмечается отсутствие существенного значения литологического состава вмещающих пород в размещении оруденения, поскольку медистые песчаники практически не отличаются как по терригенной составляющей, так и цементу от подстилающих и перекрывающих пород [16, 35]. К литологическим признакам, благоприятным для нахождения руд, на месторождении относятся: 1) ритмичное строение медистых пород, выражающееся в многократном повторении по разрезу пачек (ритмов), состоящих из песчаников в основании и средней части, алевропесчаников, алевролитов, аргиллитов — в верхней части; 2) невыдержанность ритмов по латерали; 3) разнообразие типов текстур песчаников, свидетельствующее о частой смене гидродинамических режимов осадконакопления; 4) мелководность палеобассейна вплоть до полного осушения отдельных его частей (сочетание различных типов слоистости, наличие поверхностей напластования со знаками ряби, течения и волнения, трещинами высыхания, текстур подводных оползней); 5) преобладание средне- и плохосортированных песчаников.

По петрохимическим характеристикам меденосные толщи в целом отличаются относительно повышенной карбонатностью вследствие участия карбоната кальция в составе цемента пород; сероцветные разности характеризуются преобладанием закисного железа над окисным. Отношение содержаний натрия к калию в медистых породах ряда рудных районов характеризуются преобладанием натрия над калием (Джезказганский и Кодаро-Удоканский районы), в других районах преобладает калий (Медный пояс Замбии — Заира). Интересно отметить, что в Кодаро-Удоканском районе отношение калия к натрию в медистых песчаниках характеризуется теми же пределами (0,4—0,8), которые устанавливаются для пород средней и верхней частей разреза удоканской серни, независимо от их рудности. По сравнению со сланцами медистые песчаники обладают более низкими значениями содержаний остаточного органического углерода. В медистых песчаниках Джезказгана содержание остаточного органического углерода в большинстве случаев колеблется в пределах 0,06—0,5 % [36], а на Удоканском месторождении 0,017—0,13 %.

Минерально-геохимический контроль оруденения состоит в наличии на месторождениях первичной минеральной и геохимической зональности, заключающейся в закономерной смене по латерали и мощности меденосных горизонтов минеральных и промышленных типов руд. При этом зональность может быть горизонтальная и вертикальная, прямая, обратная и концентрическая. Устанавливается взаимосвязь зональности руд с палеогеографическими условиями формирования медистых пород [7, 16, 35].

Отсутствует единое мнение относительно роли разрывной и пликативной тектоники в размещении и локализации стратифицированных медных руд. В зависимости от разделяемых взглядов на генезис оруденения одними исследователями придается решающее значение в контроле положения рудных полей и размещения в их пределах

рудных тел тектоническим факторам [32, 36]. Другие авторы указывают на косвенный характер тектонического контроля оруденения, считая его важным фактором в создании благоприятных палеогеографических и структурных (различные конседиментационные ловушки) условий для осадочного накопления руд.

Для большинства месторождений характерно согласное залегание меденосных горизонтов и рудных тел с вмещающими их породами. Медистые отложения и рудные тела согласно с вмещающими их породами участвуют в строении различных структур платформенного чехла (мульды, флексуры), а в складчатых областях и в составе древних дислоцированных толщ — в строении складок, повторяя вместе с вмещающими породами все формы складчатых структур и блоковых перемещений.

Магматический контроль оруденения не устанавливается в виду отсутствия в районах развития медистых пород молодых интрузивов или, как это наблюдается в Кодаро-Удоканской зоне, невозможности определить связь медного оруденения в песчаниках с каким-либо из разновозрастных интрузивных комплексов.

Медистые песчаники и сланцы подвержены различным изменениям, связанным с наложением эпигенетических и метаморфических процессов, проявленных наиболее интенсивно в складчатых областях и авлакогенах, а также в древних пестроцветных толщах. Характерно, что в пределах рудных районов в медистых песчаниках и сланцах отмечаются все изменения, наложенные на вмещающие породы [16, 35].

В результате эпигенетических преобразований происходит раскристаллизация цемента песчаников, развитие регенерационных каемок вокруг обломочных зерен и новообразований кварца, альбита, гидрослюд, а также альбитизация плагиоклазов, цеолитизация и карбонатизация пород.

Под воздействием регионального метаморфизма наблюдаются более глубокие изменения пород. Так, в меденосной толще Медного пояса Замбии — Заира глинистые породы превращены в аргиллиты и биотит-скаполитовые сланцы, песчаники — в кварциты, известковитые породы — в мраморы и известковисто-тремолитовые сланцы [18].

Региональный метаморфизм, наложенный на меденосные осадочные породы удоканской серии, проявлен развитием минеральных ассоциаций, сформировавшихся в условиях эпидот-хлоритовой и биотитовой субфаций метаморфической фации зеленых сланцев. В верхней части разреза удоканской серии под воздействием регионального метаморфизма цемент песчаников превращен в агрегат кварца и серицита, часто с кристаллическим кальцитом, широко проявлена регенерация обломочных зерен с развитием новообразованных кварца, альбита, мусковита, биотита, эпидота, хлорита, магнетита. В нижних частях разреза терригенные породы преобразованы в кварциты, кварц-биотитовые и биотитовые сланцы, а прослои карбонатных пород — в мраморизованные доломитизированные известняки и раскристаллизованные доломиты.

Контактный метаморфизм пород в связи с проявлениями разновозрастного интрузивного магматизма представлен в виде зон орого-

викования в экзоконтактах интрузивов и даек, а также возникновением новообразованных кварца, микроклина, альбита, эпидота, мусковита, биотита, хлорита, цеолитов.

Эпигенетические и метаморфические процессы вызывают перекристаллизацию и переотложение рудного вещества с развитием различных эпигенетического типа структур и текстур руд (коррозионных, распада твердых растворов), а также частичным перемещением в тектонически ослабленные зоны с их обогащением и образованием прожилков альпийского типа с сульфидами меди. Причем переотложение руд происходит в основном в пределах меденосных горизонтов.

Отмечаются также изменения медистых песчаников в связи с гидротермальной деятельностью (некоторые меденосные горизонты Кодо-Удоканской зоны). Эти изменения локализованы в зонах разрывных нарушений в виде окварцевания, эпидотизации, турмалинизации, развития кварцевых жил; в рудах наблюдается обогащение не типичными для остальных частей меденосных горизонтов металлами (молибден, висмут и др.).

В качестве моделей месторождений типа медистых песчаников рассматриваются Удоканское и Джекказганское месторождения (СССР), Муфулира (Замбия), а медистых сланцев — медные руды Предсудетской моноклинали (ПНР).

Удоканское месторождение представлено меденосным горизонтом, залегающим в составе отложений верхнесауканской подсвиты удоканской серии [16, 35]. Рудное поле месторождения по структурным особенностям представляет мульдообразную складку (рис. 40). Углы падения пород в северо-западном крыле складки составляют 35—40°, юго-восточное крыло синклинали на значительном протяжении имеет опрокинутое залегание с углами падения пород от 35 до 60°. Разрывы разбивают синклиналь на различные по площади смещенные относительно друг друга блоки с амплитудами от 50 до 300 м.

Замковая часть структуры сложена метаморфизованными алевролитами, аргиллитами, алевропесчаниками, тонко- и мелкозернистыми песчаниками намингинской свиты, мощность которой достигает 1000 м. Для пород свиты характерно широкое распространение поверхностей напластования со знаками волновой ряби и с трещинами высыхания.

Залегающие ниже по разрезу отложения верхнесауканской подсвиты обнажены на крыльях синклинали, их общая мощность составляет 650—800 м. Подсвита подразделена на три толщи: надрудную, рудную и подрудную. Надрудная толща имеет мощность в северо-западном крыле синклинали 140—150 м, к югу и юго-востоку ее мощность сокращается до 100 м в замковой части складки, в юго-восточном крыле до 70 м. Сложена серыми и розово-серыми кварцитовидными и известковистыми песчаниками, часто с магнетитом, прослоями алевролитов, известковистых песчаников с обломками глинистых пород, по условиям накопления представляющими осадки бассейна малых глубин и прибрежно-морского мелководья.

Рудная толща, включающая медистые песчаники месторождения, имеет мощность 500—520 м на северо-западном и 400—420 м на южном и юго-восточном флангах рудного поля. Медистые песчаники за-

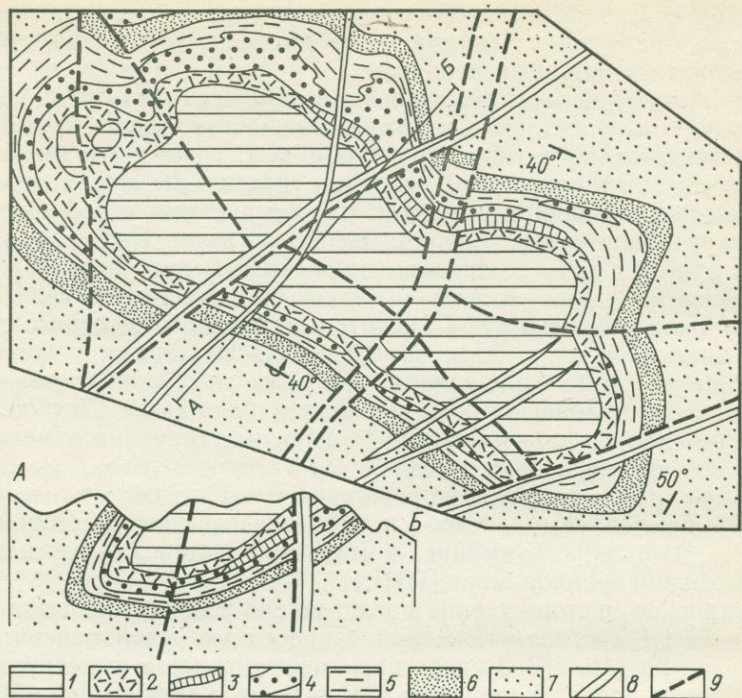


Рис. 40. Схема размещения фациальных комплексов терригенных отложений на площади Намингинской синклинали.

1 — заливно-лагунные алеврито-песчано-глинистые отложения (намингинская свита); 2 — песчаные отложения прибрежно-морского мелководья (верхнесакуканская подсвита, надрудная толща); 3—5 — песчаные и алевритистые отложения рудной толщи верхнесакуканской подсвиты (3 — наземной части дельты, 4 — подводной части дельты и лагуны, 5 — заливно-лагунные и прибрежно-морские); 6 — песчаные отложения прибрежно-морского мелководья (верхнесакуканская подсвита, подрудная толща); 7 — песчаные отложения бассейна умеренных глубин (среднесакуканская подсвита); 8 — разрывные нарушения

нимают примерно среднюю часть разреза рудной толщи в северном крыле синклинали. В направлениях с северо-запада на юг и юго-восток и с востока на запад происходит их миграция на более высокие стратиграфические уровни. В юго-восточном крыле синклинали на восточном и западном флангах рудного поля медистые песчаники расположены в самых верхних частях разреза рудной толщи (см. рис. 40 и 41). При этом нижние стратиграфические уровни, рудоносные на северо-западном крыле складки, в ее юго-восточном крыле и на восточном замыкании не содержат медистых песчаников, хотя признаки меденосности имеются в виде наличия прожилков с сульфидами меди и первичных литогеохимических ореолов.

Медистые отложения рудной толщи представлены пачками различной мощности и протяженности ритмично переслаивающихся кварцитовидных и известковистых песчаников, алевропесчаников, алевролитов и аргиллитов. По фаціальным условиям отложения выделяются следующие комплексы: осадки наземной и подводной частей дельты, лагунные, заливно-лагунные и мелководные прибрежно-

Южное  
крыло синклинали

Центральная часть синклинали

Северное  
крыло синклинали

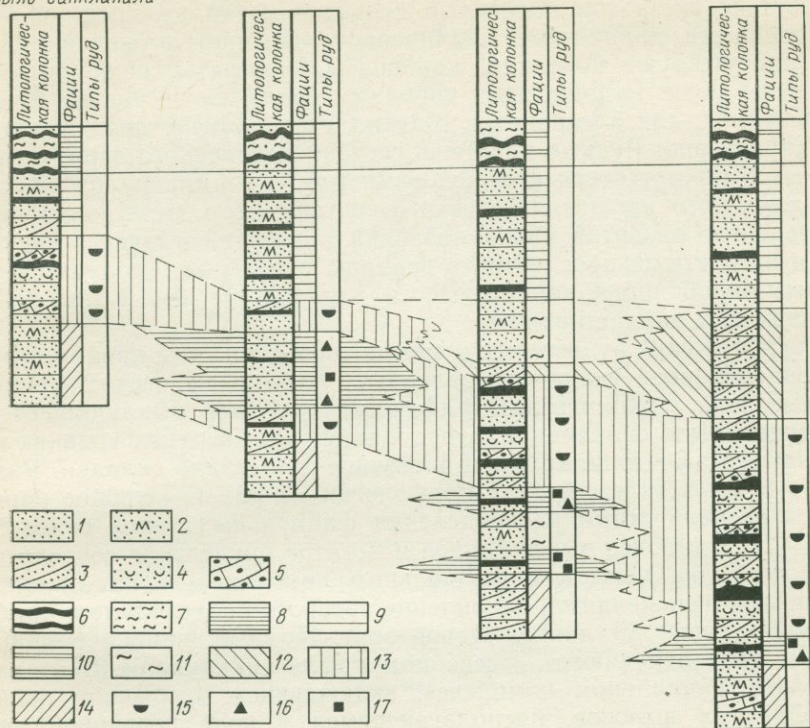


Рис. 41. Размещение фацциальных типов отложений и медистых песчаников в разрезе рудной толщи верхнесакуканской подсвиты на площади Намингинской синклинали.

*Литогеологические разности пород:* 1 — кварцитовидные песчаники неяснослоистые и массивные; 2 — песчаники с магнетитом; 3 — косослоистые кварцитовидные и известковистые песчаники; 4 — песчаники с мелкой косой, косоволнистой и линзовидно-волнистой слоистостью; 5 — грубокосослоистые известковистые песчаники с обломками глинистых пород; 6 — аргиллиты горизонтально и косоволнистые; 7 — алевролиты. *Фацциальные комплексы отложений:* 8 — периодически осушавшихся заливов и лагун; 9 — прибрежно-морского мелководья относительно спокойной седиментации; 10 — лагуны; 11 — заливов; 12 — наземной части дельты; 13 — подводной части дельты; 14 — мелководно-морские. *Минеральные типы:* 15 — борнит-халькозиновый; 16 — халькопиритовый; 17 — пиритовый

морские. Главными рудовмещающими фацциальными комплексами являются отложения подводно-дельтовых выносов, сочетающиеся с лагунными и заливно-лагунными осадками. С переходом в обстановки осадконакопления открытого бассейна происходит снижение интенсивности оруденения и полное его выклинивание, что наблюдается на восточном фланге рудного поля (см. рис. 40).

Отмеченная миграция медистых пород на более высокие стратиграфические уровни в направлении продвижения палеodelты в связи с регрессией обусловлена сменой по мощности и латерали рудоносных и безрудных фацциальных комплексов (см. рис. 41).

Рудные тела представлены залежами линзо- и пластообразной форм, контуры которых в пределах меденосного горизонта устанавли-

ваются по результатам опробования. Оруденение образовано вкрапленностью, гнездами, полосками сульфидов (халькозина, борнита, халькопирита, пирит имеет подчиненное значение); в окисленных рудах присутствуют ковеллин, карбонаты, сульфаты, реже силикаты и окислы меди. Рудоносными породами являются песчаники и алевропесчаники, для алевролитов и аргиллитов наличие оруденения менее характерно. Рудные пласты в составе меденосного горизонта чередуются по мощности с безрудными или слабоминерализованными породами того же литологического состава. При этом пачки пород с интенсивно развитой минерализацией залегают согласно с вмещающими их пустыми прослойками, а границы рудных тел, получаемые по данным опробования, занимают согласное или секущее положение по отношению к напластованию.

Расположение рудных тел в меденосном горизонте характеризуется концентрацией их на определенных стратиграфических уровнях. Рудные тела нижних стратиграфических уровней выклиниваются в северном крыле синклинали, а находящиеся на верхних уровнях протягиваются на южное крыло и восточное замыкание складки. Размещение рудных залежей и их морфология на каждом уровне определяется особенностями распределения фациальных типов отложений (рис. 42). Наиболее выдержанное и богатое оруденение сосредоточено в подводно-дельтовом фациальном комплексе, сочетающемся с лагунными отложениями, накопление которого происходило в приближенной к суше лагунно-дельтовой зоне. Поэтому наиболее мощные рудные тела отмечаются в северном крыле синклинали. В заливно-лагунном фациальном комплексе, включающем отложения подводно-дельтовых выносов, располагающемся в зоне передовой части дельты и на ее флангах, оруденение имеет прерывистый характер, рудные залежи представляют вытянутой формы линзы, ориентированные по направлению палеопотоков.

Проявленная первичная минеральная зональность в фациальном профиле размещения медистых пород по направлению от суши к палеобассейну выражена в последовательной смене халькозиновых и борнит-халькозиновых руд на борнит-халькопиритовые и пирит-халькопиритовые со снижением качества руд. Эта зональность фиксируется по латерали на всех уровнях рудных тел, а также и по мощности меденосного горизонта. Наблюдается приуроченность пирит-халькопиритовых руд к лагунным отложениям. Огибая по периферии конусы осадков подводно-дельтовых выносов, содержащих борнит-халькозиновую минерализацию, пирит-халькопиритовое оруденение образует концентрическую минеральную зональность на участках выклинивания рудных тел (см. рис. 42).

Отложения рудной толщи подстилаются серыми песчаниками, кварцитовидными и известковистыми, содержащими слойки магнетита, составляющими подрудную толщу верхнесакуканской подсвиты.

Джезказганское месторождение приурочено к песчано-алевритовой толще пестроцветной формации карбонового возраста [32]. В последние годы джезказганскую толщу рассматривают как единую свиту с разделением ее на три подсвиты: нижнюю, среднюю и верхнюю [36]. Подсвиты сложены ритмично переслаивающимися серыми

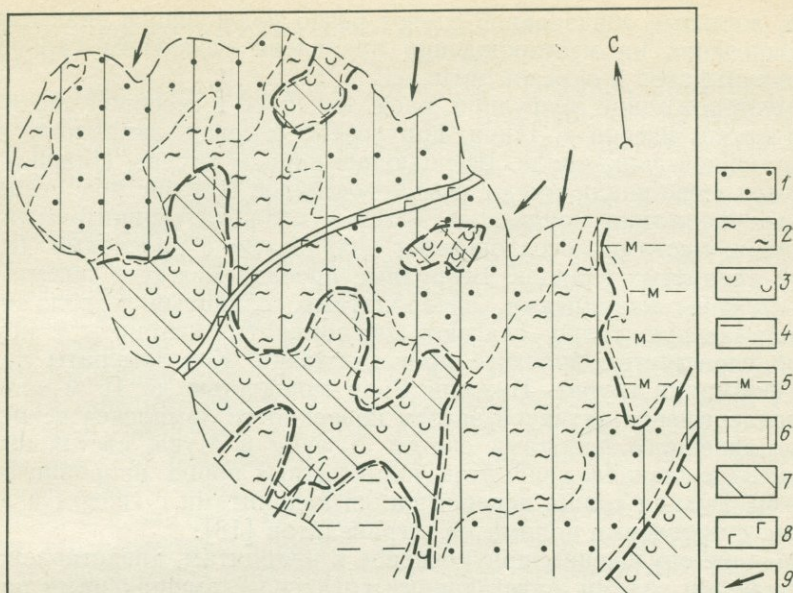


Рис. 42. Схема размещения фаций и минеральных типов руд на площади среднего рудного уровня горизонта медистых песчаников Удоканского месторождения (в развертке на горизонтальную плоскость).

1—5 — фации (1 — подводно-дельтовая, 2 — лагунная и подводно-дельтовая, 3 — лагунная, 4 — прибрежно-морская, 5 — заливная); 6 — зона борнит-халькозиновых руд; 7 — зона пирит-халькопиритовых руд; 8 — дайка габбро-диабазы; 9 — преобладающее направление сноса обломочного материала

мелко- и среднезернистыми песчаниками, красными песчаниками и алевролитами. В нижней и средней подсветках встречаются прослои конгломератов.

В структурном отношении месторождение приурочено к периклинальному замыканию Кенгирской антиклинали в узле пересечения глубинных разломов — Теректинского и Восточно-Улутауского [36]. Локальными складчатыми структурами в пределах рудного поля являются купола и флексурные зоны. Рудные тела локализуются в прослоях серых песчаников и встречаются в составе трех подсвет. В отличие от Удокана на Джезказгане наряду с медными рудами имеются и полиметаллические. Оруденение сгруппировано в 27 рудных залежах, состоящих из одного или нескольких рудных тел, которые размещены в 19 пластах серых песчаников. Форма рудных тел узко- и широколенточная, пласто- и плащеобразная. Распределение меди, свинца и цинка характеризуется латеральной и вертикальной зональностью, выражающейся в преимущественной приуроченности свинцово-цинкового оруденения к нижним горизонтам рудоносной толщи и в смене снизу вверх по разрезу борнит-халькозиновых руд пирит-халькопиритовыми. Для многих рудных залежей устанавливается смена в направлении с юго-запада на северо-восток руд халькозинового состава борнитовыми и пирит-халькопиритовыми. Данный тип зональности относительно расположения береговой линии рассматривается как обратный [7]. Руды в основном вкрапленного

типа, жильные образования имеют резко подчиненное значение. Зона окисления на месторождении проявлена развитием карбонатов, реже сульфатов и окислов меди.

Месторождение Муфулира, расположенное в северной части Медного пояса Замбии — Заира, приурочено к северо-западному крылу одноименной синклинали. Вмещающие породы группы Нижний Роан в крыле синклинали имеют северо-восточное падение под углом  $45^\circ$ . Рудная формация мощностью  $\sim 200$  м сложена серицитовыми массивными, местами косослоистыми кварцитами с прослоями доломитов и глинистых сланцев. Безрудные прослои между рудными телами сложены кварцитами, алевролитами, сланцами и доломитами. Подстилающую толщу слагают конгломераты, кварциты с крупной косою слоистостью золотого происхождения. Конгломераты подрудной формации группы Нижний Роан мощностью до 15 м залегают на подвергшейся активной эрозии поверхности комплекса основания, представленного породами систем Луфубу и Мува, состоящими из слюдястых сланцев, кварцитов, карбонатных пород, прорванных гранитами. Рудная толща перекрывается кварцитами с гипсом и ангидритом, с прослоями доломитов и гравелитов [18].

Медное оруденение, приуроченное к кварцитам, представлено тремя рудными телами, залегающими согласно с вмещающими породами. Руды состоят из борнита, халькопирита, местами пирита, в верхнем рудном теле преобладает халькозин. Распределение сульфидов зональное; выделяются зоны борнитовых, борнит-халькопиритовых и халькопиритовых руд.

Отложение терригенных пород рудных горизонтов происходило в условиях трансгрессии с образованием палеоделът, в которых накапливались рудоносные песчаники. При регрессиях формировались глинистые и хемогенные осадки безрудных прослоев.

Медистые отложения Предсудетской моноклинали (ПНР), представляющие месторождение типа медистых сланцев, выделены в разрезе нижнего и среднего цехштейна, а также в песчаниках верхней части подстилающей толщи «красного лежня» [19]. Они протягиваются вдоль Предсудетского вала почти на 40 км, а по падению прослежены на 10 км. Рудные тела заключены в двух горизонтах: нижний горизонт мощностью до 1,5 м сложен черными битуминозными сланцами и содержит богатое медное оруденение; верхний — доломитово-известковистый. Основными рудными минералами являются халькозин, халькопирит, борнит и пирит. Подчиненное значение имеют галенит и сфалерит, установлены минералы серебра и мышьяка. В распределении рудообразующих сульфидов отмечается вертикальная и горизонтальная зональность. Медь обычно тяготеет к нижним частям рудных горизонтов, свинец — к средним, а цинк — к верхним. Меденосными являются отложения заливно-лагунные и прибрежно-морского мелководья.

Приведенные примеры геологических особенностей месторождений свидетельствуют о сходстве многих признаков, характерных для обоих типов оруденения, что обусловлено их близким положением в формационных рядах красноцветов и, вероятно, генетической общностью.

Вследствие дискуссионности проблемы генезиса руд медистых песчаников и сланцев при разработках поисково-прогнозных критериев и признаков определяющее значение в размещении и локализации оруденения придается различным геологическим факторам в зависимости от принимаемой генетической концепции. В осадочно-диагенетической гипотезе [1, 7, 15, 16, 35] первоочередное значение придается таким прогнозно-поисковым факторам, как стратиграфический, палеотектонический, палеогеографический и минералого-геохимический контроль оруденения, а также металлогенической специализации областей сноса. В магматогенно-гидротермальной гипотезе [32, 36] основная рудоконтролирующая роль отводится глубинным разломам, рассматриваемым как рудоподводящие каналы, а также складчатым структурам и литологическому составу пород. В гидрогенной гипотезе в качестве главных рудолокализирующих факторов рассматриваются очаги разгрузки металлоносных вод артезианских бассейнов с развитыми красноцветными формациями, а также различные геохимические барьеры. В вулканогенно-осадочной и гидротермально-осадочной гипотезах оруденение связывается с вулканическими аппаратами.

На основе установленных практикой закономерностей размещения и локализации руд медистых песчаников и сланцев, независимо от генетических представлений, намечаются следующие геологические прогнозно-поисковые предпосылки, признаки и критерии.

При выделении регионов, перспективных на обнаружение оруденения типа медистых песчаников и сланцев, наиболее эффективно использование следующих поисковых геологических предпосылок: формационное строение осадочных толщ, геотектоническая позиция территорий, геологический возраст формаций и их стратиграфическое расчленение, палеогеография эпох накопления красноцветов по всему профилю от источников терригенного материала до бассейнов седиментогенеза, металлогеническая специализация разрушавшихся пород в областях денудации, литолого-фациальное строение и минералого-геохимические особенности перспективных стратиграфических уровней в составе красноцветных формаций.

Как отмечалось в предыдущих разделах, крупные месторождения медистых песчаников и сланцев представлены меденосными горизонтами в составе пестроцветных формаций карбонатного типа, накапливавшихся в наложенных прогибах внешних поясов складчатых областей в поздние и конечные этапы их развития, во внутриплатформенных прогибах — авлакогенах и в краевых частях платформ вблизи от палеоподнятий. Рудные накопления размещаются в пределах территорий распространения красноцветов, располагаясь внутри их толщ или в краевых зонах. Руды локализируются в лагунно-дельтовых и обогащенных органикой заливно-лагунных и мелководных прибрежно-морских песчаных и карбонатно-глинистых отложениях. Промышленное оруденение связано с элементами палеотектоники, приурочиваясь к палеоподнятиям, куполам, конседиментационным мульдам. Минералого-геохимические предпосылки состоят в обнаружении мед-

ной минерализации в осадочных толщах, относительно повышенном содержании в них меди и сопутствующих компонентов, а также в установлении первичной минеральной и геохимической зональности. Руды характеризуются четко выраженной стратификацией, что позволяет наметить перспективные стратиграфические уровни, учитывая возможность многоярусности развития оруденения.

На основе анализа геологических поисковых предпосылок определяется формационный тип месторождений (медистые песчаники или сланцы) и по аналогии с известными месторождениями дается количественная прогнозная оценка территорий по категории  $P_3$ .

Поисковыми признаками для месторождений типа медистых песчаников являются:

— пестроцветность строения разреза, образованная чередованием серых и окрашенных (красных) разностей терригенных пород;

— особенности фациального строения разрезов, характеризующиеся признаками накопления отложений в обстановках дельт, сочетающихся с мелководными заливно-лагунными условиями;

— литологическое строение разрезов пестроцветов, отличающееся четко выраженной ритмичностью, преобладающим значением терригенных пород с относительно плохой сортировкой обломочного материала, повышенной карбонатностью толщ;

— наличие вкрапленной медносульфидной минерализации в терригенных породах, проявления окисленных минералов меди в виде вкраплений и примазок на плоскостях трещин, кварцевые и кварцево-кальцитовые жилы и прожилки альпийского типа с медной минерализацией;

— наличие зон выноса рудных элементов, фиксируемых различными видами геохимических съемок;

— наличие грави-, сейсмо-, электроразведочных аномальных полей, отрицательных аномалий кажущегося сопротивления.

Поисковыми признаками месторождений типа медистых сланцев являются:

— присутствие в основании трансгрессивных морских толщ красноцветов сероцветных глинистых и глинисто-карбонатных горизонтов, обогащенных остаточным органическим углеродом;

— наличие минералов меди (сульфидных и окисленных), свинца и цинка, а также пирита, марказита в глинистых и глинисто-карбонатных пластах;

— повышенные содержания меди и других сопутствующих элементов в подземных водах;

— наличие зон низких сопротивлений на электрокаротажных диаграммах разреза буровых скважин.

Поисковыми критериями месторождений медистых песчаников и сланцев служат:

— вскрытые эрозией или горными выработками и буровыми скважинами горизонты медистых песчаников или сланцев с определенными значениями мощностей, протяженности по падению и простираению и содержаниям полезных компонентов;

— литогеохимические ореолы рудообразующих и сопутствующих элементов;

— гидрогеохимические ореолы с концентрациями меди, серы и других компонентов;

— газовые геохимические аномалии.

Прогнозные критерии, используемые для количественного прогноза на различных стадиях геологического изучения территорий, базируются на перечисленных выше поисковых предпосылках, признаках и критериях с учетом ожидаемого типа месторождений и возможных масштабов развития оруденения.

Выдвигаемые в качестве основных рудоконтролирующих факторов формационный, стратиграфический, палеогеографический и минералого-геохимический контроль оруденения, определяющий тип месторождений, особенности размещения, локализации руд и их качество, служит обоснованием критериев прогноза на разных стадиях прогнозирования.

При мелко- и среднемасштабном (1 : 1 000 000—1 : 100 000) прогнозе указанные факторы используются для выделения площадей пространства потенциально рудоносных осадочных формаций, а в их пределах — стратиграфических уровней, по литолого-фациальному строению и другим признакам наиболее благоприятным для рудонакопления. При этом принимаются во внимание элементы палеотектоники, а также палеогеографические условия формирования осадков.

При крупномасштабном (1 : 50 000 и 1 : 25 000) прогнозе стратиграфический критерий, базирующийся на приуроченности меденосных горизонтов к определенным частям разреза пестроцветов, выдержанности этих горизонтов по латерали на значительных площадях и многоярусности проявления оруденения по мощности разреза, служит обоснованием выделения перспективных стратиграфических подразделений — свит, подсвит, толщ, горизонтов. Литолого-фациальный критерий является основой определения конкретных площадей распространения рудоносных фациальных комплексов на каждом перспективном стратиграфическом уровне с учетом глубины развития оруденения от современного эрозионного среза. Общий объем развития рудоносных фациальных комплексов отложений и особенности распределения в его составе оруденения с учетом первичной минералого-геохимической зональности являются основой для определения параметров подсчета прогнозных ресурсов (площадь, мощность и предполагаемые средние содержания полезных компонентов).

При локальном прогнозе (масштабы 1 : 25 000—1 : 10 000) указанные критерии определяют положение в разрезах наиболее продуктивных стратиграфических уровней и дают возможность для каждого рудоносного уровня конкретизировать размещение рудо локализирующих фациальных комплексов и их морфологических особенностей с определением ожидаемых характеристик рудных залежей, опираясь на параметры известных рудных тел.

На всех стадиях прогноза необходимо уделять внимание также рудоконтролирующим факторам, основывающимся на других генетических концепциях — структурному, палеогидрогеологическому и др.

### Обстановки нахождения месторождений и ведения поисков

Месторождения медистых песчаников и сланцев располагаются в весьма различных геологоструктурных и ландшафтных обстановках. Медистые сланцы в чехлах палеозойских платформ характеризуются широким площадным распространением при сравнительно небольших мощностях рудоносных горизонтов и их залеганием, близким к горизонтальному. При этом, глубины залегания рудных залежей от современного эрозионного среза сохраняются на больших площадях. Медистые песчаники в аллювиально-озерных фациальных комплексах на платформах также имеют близкое к горизонтальному залегание, однако, отличаются сложной морфологией развития оруденения, представленного небольшими лентовидными в плане рудными телами (Приуральская провинция).

В докембрийских авлакогенах с рудовмещающими толщами, подвергшимися складчатости, рудные горизонты медистых песчаников и сланцев участвуют в строении складчатых структур — синклиналей и антиклиналей. Крупные месторождения в основном приурочены к синклинальным структурам (месторождения Кодаро-Удоканской зоны, Замбии), реже к антиклиналям (Заир).

В наложенных прогибах внешних поясов складчатых областей месторождения медистых песчаников бывают приуроченными к участкам периклинального замыкания и крыльям брахиантиклиналей (Джезказган и Джиландинская группа месторождений). Медистые песчаники отмечены также в крыльях и центральных частях синклиналей.

Для месторождений медистых песчаников характерно ограниченное площадное развитие оруденения по сравнению с медистыми сланцами при значительно большем размахе его по мощности разреза и многоярусном расположении рудных тел. Мощность рудоносных толщ измеряется сотнями метров, а число рудных тел, занимающих разные стратиграфические уровни, может исчисляться десятками.

В осадочных толщах, смятых в складки, рудоносные горизонты и рудные тела нередко имеют крутые элементы залегания с резким погружением оруденения на значительные глубины. Рудные залежи бывают разбиты на блоки совместно с вмещающими их породами со смещениями относительно друг друга, характеризующимися амплитудами от десятков до сотен метров.

По расположению относительно поверхности современного эрозионного среза в пределах территорий развития меденосных осадочных формаций различаются рудные объекты, выходящие непосредственно на дневную поверхность, скрытые под чехлом различной мощности рыхлых образований, а также не выходящие на дневную поверхность, перекрытые нерудоносными осадочными или вулканогенно-осадочными формациями, либо с обнажающимися и скрытыми под наносами отложениями меденосных формаций, не содержащими на выходах оруденения, но в составе которых рудные залежи установлены или предполагаются на глубоких горизонтах.

При широком распространении на территории СССР рассматриваемые типы месторождений и рудопроявлений меди встречаются в разнообразных современных ландшафтах, включающих тундру (Игарская провинция, архипелаг Северная Земля), тайгу и горную тайгу (юг Сибирской платформы, Полярный Урал, пониженные площади Кодаро-Удоканской зоны), лесную полосу Русской платформы, степи и полупустыни (Центральный и Западный Казахстан), районы резко расчлененного средне- и высокогорного рельефа (Кодаро-Удоканская зона, юг Якутии и др.).

В целом обстановки нахождения месторождений и ведения поисков относятся к трем основным типам. Среди них различаются: 1) приподнятые и эродированные в различной степени чехлы докембрийских платформ; 2) складчатые области с наклонным, часто достаточно крутым залеганием пород рудоносных формаций и заключенных в них рудоносных горизонтов; 3) районы платформ с двухъярусным строением, представленным осадочным чехлом с субгоризонтальным залеганием рудоносных формаций и рудных горизонтов и складчатым основанием, составляющим нижний структурный этаж; 4) закрытые районы с развитием мощного покрова четвертичных рыхлых отложений.

### **Поисковые методы и их разрешающие возможности**

Поиски месторождений медистых песчаников и сланцев проводятся с применением широкого комплекса геологических, геофизических, геохимических и технических методов и методик. Они выполняются в сочетании с геологическими съемками в разных масштабах и в порядке специальных заданий.

На стадии мелко- и среднемасштабного (1 : 1 000 000—1 : 100 000) геологического картирования при стратиграфическом расчленении осадочных и вулканогенно-осадочных пород в разрезах выделяются терригенные и карбонатно-терригенные толщи красноцветных формаций, устанавливаются их объем, площади распространения, глубины залегания, положение в геоструктурах. В составе красноцветов выявляются стратиграфические уровни развития серо- и пестроцветных пород. При определении общего структурного плана регионов и их металлогении выделяются элементы палеотектоники и другие рудоконтролирующие структурные факторы, устанавливаются типы меденосных формаций. Применение региональных аэрометодов и наземных геофизических методов, включающих грави- и магнитометрическую съемки, профильные сейсморазведочные работы, способствуют решению ряда геологических задач по определению: глубины залегания и рельефа нижнего структурного яруса платформ с выделением поднятий и прогибов, глубины залегания и мощности продуктивных формаций, мощности рыхлых отложений, зоны разломов,

Региональные геологосъемочные и геофизические работы в масштабах 1 : 200 000—1 : 500 000 включают визуальные маршрутные наблюдения с отбором металлометрических проб, шлиховую и гидрохимические съемки, на платформах — бурение единичных глубоких опорных скважин и геокартировочных скважин по редким профилям

с совмещением этих видов работ с глубинными геофизическими исследованиями методами сейсморазведки, гравиметрии, электроразведки и скважинной геофизики; в закрытых районах — геокартировочное бурение по редким профилям в сочетании с геофизическими методами, а также поисковое бурение и горные работы на площадях развития благоприятных для рудонакопления формаций.

При картировании краснокварцевых изучаются особенности их литологии, геохимии, ритмичности, фациального строения с восстановлением региональных палеогеографических обстановок накопления осадков на разных стратиграфических уровнях и выявлением признаков меденосности.

В итоге региональных геологосъемочных и геофизических работ выявляются благоприятные геологические поисковые предпосылки, на основе которых намечаются территории развития потенциально рудоносных пестроцветных формаций (рудные зоны) и площади распространения рудоносных фаций (рудные районы). При благоприятных условиях (районы с расчлененным рельефом и вскрытыми эрозией месторождениями) могут быть обнаружены и рудные объекты.

Поисковые работы выполняются в три стадии (подстадии): общих, детальных поисков и поисково-оценочных работ.

Общие поиски проводятся одновременно с геологосъемочными работами в масштабах 1 : 50 000—1 : 25 000 или после них и выполняются на территориях потенциально рудоносных зон и районов. На этой стадии устанавливают поисковые признаки и критерии и выделяют перспективные площади для детальных поисковых работ.

В комплекс поисковых методов входят визуальные геологические наблюдения, литогеохимическая, шлиховая, гидрохимическая, биогеохимическая съемки с анализом и разбраковкой аномалий, аэро- и наземные геофизические работы с расшифровкой природы аномалий, геокартировочное и поисковое бурение, поверхностные горные работы.

Визуальные геологические наблюдения включают проведение маршрутов по установленной сети, изучение опорных типовых разрезов краснокварцевых толщ по обнажениям или керну буровых скважин с опробованием и отбором образцов для литолого-геохимической, петрографической и петрофизической характеристики пород, сбором палеонтологических материалов, поиски и прослеживание вскрытых эрозией горизонтов пород с медной минерализацией.

Литогеохимическая съемка, проводимая в масштабе 1 : 50 000 или 1 : 25 000 с детализацией выявленных аномалий, является прямым поисковым методом для обнаружения выходящего на уровни эрозийного среза оруденения по открытым или погребенным ореолам рассеяния рудных элементов, элементов-спутников и элементов-индикаторов оруденения. С целью выявления первичных глубинных геохимических ореолов производится опробование керна геокартировочных и поисковых скважин.

Другие геохимические методы, включающие гидрогеохимическую съемку с определением концентраций меди и других макро- и микроэлементов в подземных водах, а также содержаний в них сульфат-иона, воднорастворенного органического вещества, изотопного состава

ва серы и других характеристик, изучение содержаний и природы органического вещества, соотношений закисного и окисного железа в породах, изотопного состава серы сульфидов и сульфатов, биогеохимическую и газовую съемки, способствуют выявлению признаков наличия нескрытых минерализованных горизонтов или рудных залежей.

Большинство применяемых геофизических методов решает косвенные поисковые задачи, главным образом в области структурного картирования и тектонического районирования перспективных территорий. При наличии контрастности физических свойств горных пород данные методы используются при глубинном картировании, особенно для выявления поведения на глубине кровли или подошвы продуктивных осадочных толщ.

Для прямых поисков медистых песчаников и сланцев положительные результаты дают различные варианты метода ВП в условиях небольшой мощности перекрывающих рыхлых отложений, а для глубокозалегающих рудных залежей — метод ВПВЭЗ. Эффективны также скважинные модификации электроразведки (радио- и электропросвечивание и др.).

При картировании красноцветных толщ выделение и прослеживание пачек пестроцветов и сероцветов в некоторых районах (степные и полупустынные ландшафты) производится с помощью цветной и спектрозональной аэрофотосъемки.

Важными элементами геологопоисковых работ являются изучение строения красноцветных толщ, их стратиграфическое расчленение, корреляция опорных разрезов с применением метода фациально-циклического анализа, палеорекострукция определенных эпох накопления толщ красноцветов, включая восстановление геотектонического режима, палеорельефа, палеоклимата в областях седиментации и денудации, палеодинамики вод бассейна, а также установление признаков металлоносности.

Для выявленных меденосных горизонтов необходимо исследование особенностей первичной минеральной и геохимической зональности.

Как самостоятельный вид работ общие поиски включают глубинное картирование перспективных территорий с целью изучения распространения, строения и меденосности продуктивных осадочных формаций, залегающих на глубине в структурах платформенных чехлов, наложенных впадин. Изучение глубинного строения проводится с применением бурения, аэро- и наземных геофизических методов, скважинной геофизики.

Общие поиски предусматривают проверку и разбраковку выявленных медепроявлений, геохимических и геофизических аномалий, прослеживание меденосных горизонтов буровыми и горными работами, а также выполнение специальных геохимических и геофизических исследований. Подстадия общих поисков завершается выделением участков и объектов для детальных поисков.

На подстадии детальных поисков (масштабы 1 : 10 000 и 1 : 25 000) меденосные горизонты прослеживаются по выходам и на глубину по падению горными выработками и буровыми скважинами с расстояниями между поисковыми профилями 500—600 м.

Для уточнения структуры участков поисков и их глубинного картирования проводятся геофизические работы высокоточными методами (гравиразведка, магнитная съемка, электроразведка). Прямые поиски медных руд осуществляются наземными методами электроразведки (ВП с различными схемами измерения и становления поля в ближайшей зоне) и скважинной геофизики.

Проводится петрофизическое картирование пород по выходам на поверхность и керну буровых скважин, а также отбор геохимических проб по разрезам для определения содержания меди, попутных компонентов и элементов-индикаторов оруденения. В меденосных горизонтах изучаются вещественный состав руд, первичная и вторичная минеральная зональность, общие закономерности размещения оруденения, его возможные масштабы и качество.

На подстадии (стадии) поисково-оценочных работ, на выделенных при детальном поиске перспективных участках главным образом проводятся бурение поисковых скважин и проходка горных выработок с опробованием рудоносных пород в комплексе с детальными геофизическими и геохимическими работами, которые выполняются по сгущенной сети наблюдения. Конечной целью работ этой подстадии (стадии) является выделение объектов для предварительной разведки.

### **Прогнозно-поисковые комплексы**

На каждой стадии (подстадии) геологоразведочного процесса предусматривается выполнение определенного комплекса поисковых и прогнозных работ, которые обеспечивают решение поставленных задач и получение необходимых результатов для обоснования перехода к последующим более детальным исследованиям. Рациональное сочетание прогнозно-поисковых работ, их стадийность, цели и ожидаемые результаты представляются в виде следующей схемы.

1. Стадия региональных геолого-геофизических и прогнозно-металлогенических исследований (масштабы 1 : 1 000 000—1 : 100 000) включает:

— региональные геофизические съемки (аэро- и наземные магнито-, гравиметрические, сейсмо- и электроразведочные методы) и создание геофизической основы по крупным регионам;

— геологические съемки в масштабах 1 : 1 000 000—1 : 100 000 с составлением государственных геологических карт и карт полезных ископаемых соответствующих масштабов, а также с прогнозно-металлогеническим анализом регионов;

— региональную прогнозно-металлогеническую оценку территории, предусматривающую: а) формационный анализ осадочных толщ с выделением красноцветных формаций, а в их составе перспективных стратоединиц на основе литолого-фациальных и минералого-геохимических признаков и определение площадей их распространения, палеогеографические, палеотектонические и палеоклиматические реконструкции эпох накопления отложений потенциально меденосных стратиграфических уровней, установление формационных типов медного оруденения; б) анализ строения фундамента и осадочного чех-

ла регионов с установлением глубин залегания и мощностей продуктивных осадочных формаций, состава и металлогенической специализации пород фундамента; в) анализ и интерпретацию геофизических и геохимических полей, палеогидрогеологические реконструкции; г) составление карт размещения рудоносных формаций, структурно-тектонических карт фундамента и осадочного чехла, палеогеографических, палеоклиматических и палеогидрогеологических карт перспективных стратоуровней и прогнозно-металлогенических карт с выделением площадей распространения перспективных типов формаций, стратиграфических уровней и выявленных меденосных горизонтов.

Главной задачей, решаемой на данной стадии работ, является установление благоприятных геологических поисковых предпосылок обнаружения месторождений медистых песчаников и сланцев, на основе которых должны быть выделены потенциально рудоносные районы для постановки специализированных общих поисков и произведен количественный прогноз ресурсов меди по категории  $P_3$ .

2. При крупномасштабных (1 : 50 000—1 : 25 000) геологосъемочных и поисковых (подстадии общих поисков) работах предусматриваются:

— геологические съемки в масштабах 1 : 50 000 и 1 : 25 000 с составлением геологических карт и карт полезных ископаемых соответствующих масштабов;

— геофизические съемки (аэро- и наземные магнито-, гравиметрические, сейсмо- и электроразведочные методы, скважинная геофизика), опережающие и совпадающие с проведением геологических съемок;

— литогео-, гидро-, биогеохимическая и шлиховая съемки;

— геокартировочное и поисковое бурение, горные работы;

— глубинное геологическое картирование;

— предпроектный прогнозно-металлогенический анализ, выполняющийся путем составления прогнозно-металлогенических карт территорий в масштабе 1 : 50 000 или 1 : 25 000, обобщающий все накопленные геологические, геофизические, геохимические и поисковые данные.

Комплект прогнозно-металлогенических карт включает: а) карту геолого-геофизической изученности и опискованности территории; б) геологическую карту и карту полезных ископаемых (по результатам предшествовавших геологических съемок); в) карту поисковых признаков (геофизических, геохимических, гидрохимических, биогеохимических и шлиховых аномалий, точек минерализации); г) структурно-формационную карту; д) карту глубинного строения территории; е) палеогеографические карты или схемы перспективных стратоуровней, отражающие природные ландшафты эпох накопления меденосных осадочных толщ; ж) карту комплексного критерия перспектив рудоносности, составленную на основе обработки на ЭВМ комплекса геолого-геофизических и геохимических признаков, отражающих особенности рудоносности исследуемой площади с выработкой главных геолого-геофизических и геохимических критериев оценки промышленных перспектив меденосности территории; з) карту прогноза с выделением перспективных площадей, поисковых признаков

и критериев с количественной оценкой прогнозных ресурсов по категории  $P_2$ .

При общих специализированных поисках, выполняемых на перспективных площадях, в пределах которых уже были проведены геологические съемки в масштабах 1 : 50 000—1 : 25 000, должны быть поставлены геологическое доизучение в масштабе 1 : 50 000 или 1 : 25 000, глубинное геолого-геофизическое картирование в этих же масштабах, специализированные и геохимические работы, пройдены горные выработки и буровые скважины. Специальным видом исследований являются уточнение стратиграфического расчленения продуктивных осадочных формаций и литолого-фациальный анализ перспективных стратоединиц с изучением их минералого-геохимических особенностей. В итоге составляется прогнозно-металлогеническая карта территории в масштабе 1 : 50 000 или 1 : 25 000, включающая комплект перечисленных выше карт.

Главная задача, решаемая при общих поисках, состоит в выявлении поисковых признаков и критериев меденосности, выделении перспективных площадей и определении их потенциальных возможностей. При благоприятных условиях могут быть выделены рудные поля и обоснована постановка детальных поисков.

3. Подстадия детальных поисковых работ, выполняющихся на перспективных участках, включает:

— геологическое картирование в масштабах 1 : 10 000—1 : 25 000 в сочетании с геофизическими работами, геохимической и гидрохимической съемками, бурением поисковых и геокартировочных скважин, скважинными геофизическими и горными работами;

— составление палеогеографических карт и схем в масштабе 1 : 10 000 или 1 : 5000 на основе литолого-фациального изучения разрезов пестроцветных толщ, меденосных горизонтов;

— прослеживание и опробование выявленных меденосных горизонтов, установление в их пределах рудных залежей и их прогнозную оценку.

В итоге составляются карты локального прогноза с выделением перспективных участков с количественным определением прогнозных ресурсов по категории  $P_2$  и обоснованием целесообразности постановки поисково-оценочных работ.

4. Подстадия (стадия) поисково-оценочных работ имеет своей основной задачей выделение и оконтуривание рудных тел с кондиционными рудами и подготовку объектов для постановки предварительной разведки.

Основным видом работ, выполняемых на этой стадии, являются бурение скважин и горные работы, с помощью которых производится прослеживание и опробование рудных залежей. Вспомогательными методами являются скважинная геофизика, геологическое доизучение, литолого-фациальные и минералого-геохимические исследования. На данном этапе уточняются поисковые признаки и критерии меденосности и определяются прогнозныe ресурсы меди по категории  $P_1$  и частично запасы меди по категории  $C_2$ . Решается вопрос о промышленной ценности объекта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов Ю. В., Кутырев Э. И. Региональные и локальные закономерности размещения стратифицированных медных и свинцово-цинковых месторождений. — В кн.: Разработка основ научного прогноза месторождений полезных ископаемых. Л., 1970.
2. Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П. Основы структурно-формационного анализа колчеданосных провинций. М., Недра, 1977.
3. Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П. Типы колчеданосных провинций и методы прогнозирования колчеданного оруденения. Обзор. М., 1975. (ОНТИ ВИЭМС).
4. Веселов В. В., Липова И. М., Попов Ю. В. Минерально-сырьевая база медной промышленности капиталистических и развивающихся стран. Обзор. М., 1979. (ОНТИ ВИЭМС).
5. Гончаров Ю. В. Структура Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения. — В кн.: Геология и минералогия медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Л., Наука, 1970, с. 32—42.
6. Горбунов Г. И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М., Недра, 1968.
7. Дружинин И. П. Литология карбонатов отложений Джеккаганской впадины и генезис пластовых сульфидных руд. М., Наука, 1973.
8. Лурье А. М. Генетическая классификация экзогенных месторождений меди. — В кн.: Стратиформные месторождения цветных, редких, благородных металлов и других полезных ископаемых (тез. докл.). Фрунзе, 1981, с. 28—31.
9. Колчеданные месторождения мира. Под ред. В. И. Смирнова. М., Недра, 1979.
10. Кривцов А. И. Вопросы золотоносности зарубежных месторождений медно-порфирирового типа. — Экспресс-информация. Сер. геол., методы поисков и разведки м-ний метал. полезн. ископ. М., ВИЭМС, 1981, вып. 9, с. 1—9.
11. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков меднопорфирировых месторождений. М., Недра, 1983.
12. Кривцов А. И. Палеовулканизм эвгеосинклинальных зон Урала и колчеданообразование. М., Недра, 1979.
13. Кривцов А. И., Макеева И. Т. Проблемы геологии меднопорфирировых и колчеданных месторождений. — В кн.: Рудные месторождения. Т. 8. М., 1979.
14. Кривцов А. И., Самонов И. З., Шабаршов П. Я. О продуктивности различных металлогенетических эпох для колчеданного оруденения. — Геол. рудн. м-ний, 1978, № 1, с. 97—102.
15. Медистые отложения Олекмо-Витимской горной страны/Ю. В. Богданов, Г. Г. Кочин, Э. И. Кутырев и др. Л., Недра, 1966.
16. Медистые песчаники и сланцы южной части Сибирской платформы/Л. Ф. Наркелюн, Ю. Л. Безродных, А. И. Трубачев и др. М., Недра, 1977.
17. Медистые песчаники Северного Джеккагана/А. А. Арустамов, Ш. Е. Есенов, Г. Б. Паршин и др. Алма-Ата, Наука, 1969.
18. Медный пояс Северной Родезии. Под ред. Ф. Мендельсона. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
19. Месторождения медистых сланцев Польши и сопоставление их с проявлениями меди в восточных районах СССР/Л. Ф. Наркелюн, А. М. Филлин, Ю. П. Безродных и др. — Сов. геология, 1970, № 10, с. 108—121.
20. Митчел Дж., Матч А. Месторождение Харди. — В кн.: Структурная геология рудных месторождений Канады. М., 1964, с. 316—328.
21. Молодые геосинклинали Тихоокеанского пояса/Г. М. Власов, О. Г. Борисов, Е. Д. Петраченко и др. М., Наука, 1978.
22. Л. Ф. Наркелюн, В. С. Салихов, А. И. Трубачев. Восточно-Сибирская провинция медистых песчаников и сланцев. — В кн.: Процессы осадочного и вулканогенно-осадочного накопления цветных металлов. Новосибирск, 1980.
23. Основные принципы составления, содержание и условные обозначения металлогенетических прогнозных карт рудных районов/Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, К. В. Яблоков и др. М., Недра, 1964.
24. Павлова И. Г. Меднопорфирировые месторождения. М., Недра, 1978.

25. *Перваго В. А.* Геология и экономика меднопорфировых месторождений. М., Недра, 1977.
26. *Перваго В. А.* Условия формирования и геолого-экономическая оценка промышленных типов месторождений цветных металлов. М., Недра, 1975.
27. *Поисковые признаки и методы поисков месторождений меднопорфирового типа.* Под ред. А. Кривцова. М., Наука, 1979 (Тр./ЦНИГРИ; вып. 141).
28. *Полезные ископаемые Австралии и Папуа Новой Гвинеи.* М., Мир, 1980.
29. *Полуэктот В. Н., Самонов И. З., Воробьев А. Г.* Минерально-сырьевая база меди развитых капиталистических и развивающихся стран в 1961—1980 гг. и прогноз ее развития до 2000 г. Обзор. М., 1982. (ОНТИ ВИЭМС).
30. *Попов В. С.* Геология и генезис медно- и молибденпорфировых месторождений. М., Наука, 1977.
31. *Рудные месторождения США.* Т. I. М., Мир, 1972.
32. *Сатпаев К. И.* Избранные труды. Джекказганский меднорудный район. Алма-Ата, Наука, 1967.
33. *Смирнов В. И.* Варианты доорогенной металлогении. — Геология рудн. м-ний, 1977, № 1, с. 3—16.
34. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1976.
35. *Стратифицированные месторождения меди СССР/Ю.* В. Богданов, Е. З. Бурьянова, Э. И. Кутырев и др. Л., Недра, 1973.
36. *Стратиформные месторождения меди западной части Центрального Казахстана/С. Ш. Сейфуллин, Н. Н. Нуралин, Л. В. Копятевич и др.* Алма-Ата, Наука, 1976.
37. *Штейнберг Д. С., Соболев И. Д.* Формационное деление магматических формаций на Урале. — В кн.: Магматические формации. М., Наука, 1964, с. 31—44.
38. *Яцинин С. Б., Гируволь Т.* Айнакское месторождение меди (Афганистан). — Сов. геология, 1981, № 7, с. 78—82.
39. *Mineral facts and problems,* 1980 edition. Washington, 1981, p. 321—336.
40. *Palabora.* Engng and Mining J., 1967, v. 168, N 11, pp. 87—111.
41. *Porphry deposits of the Canadian Cordillera.* Ed. A. Sutherland Brown. Montreal, 1978, (Canad. Inst. Mining and Metallurgy, v. 15).
42. *Souch B. E., Podolsky T.* The sulfide ores of Sudbury: The particular relationship to a distinctive inclusion-bearing facies of the Nickel Irruptive. — Econ. Geol., 1969, v. 64, p. 252—261.
43. *F. M. Barrett, R. A. Binns, D. I. Groves,* e. a. Structural history and metamorphic modification of Archean volcanic-type nickel deposits, Yilgarn Block, Western Australia/ — Econ. Geol., 1977, v. 72, p. 1195—1223.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава I. Минерально-сырьевая база медной промышленности (И. З. Самонов)</b> . . . . .	4
Геолого-промышленные типы месторождений меди . . . . .	4
Промышленные типы медных руд . . . . .	22
Динамика запасов и добычи меди в развитых капиталистических и развивающихся странах. Изменение качества руд . . . . .	25
Области применения и потребления меди . . . . .	30
<b>Глава II. Стадийность поисковых работ (А. И. Кривцов, И. З. Самонов)</b> . . . . .	32
Стадии (подстадии) геологопоискового процесса . . . . .	32
Прогнозные ресурсы и их категоризация . . . . .	32
Основные задачи поисковых работ по стадиям (подстадиям) и порядок их проведения . . . . .	36
Порядок составления технико-экономических соображений о возможном промышленном значении месторождений полезных ископаемых . . . . .	38
<b>Глава III. Поиски медно-никелевых месторождений (А. П. Лихачев)</b> . . . . .	40
Закономерности размещения месторождений . . . . .	40
Поисковые методы и их разрешающие возможности . . . . .	72
Типовые модели, критерии и методы поисков рудных полей, месторождений и рудных тел . . . . .	75
Последовательность прогнозирования, поисков и оценки месторождений . . . . .	79
<b>Глава IV. Поиски месторождений меднопорфирового типа (А. И. Кривцов)</b> . . . . .	81
Закономерности размещения меднопорфировых месторождений . . . . .	81
Поисковые критерии и признаки. Методы поисков . . . . .	110
Прогнозно-поисковый комплекс и его содержание . . . . .	119
<b>Глава V. Поиски медноколчеданных месторождений (М. Б. Бородаевская, А. И. Кривцов)</b> . . . . .	131
Закономерности размещения медноколчеданных месторождений . . . . .	131
Типовая модель медноколчеданных месторождений и главные элементы ее строения, поисковые критерии и признаки . . . . .	157
Обстановки ведения поисков . . . . .	161
Варианты прогнозно-поискового комплекса и их содержание . . . . .	171
<b>Глава VI. Поиски месторождений медистых песчаников и сланцев (Р. Н. Володин)</b> . . . . .	180
Типы провинций и меденосные геологические формации . . . . .	180
Положение оруденения в разрезах формаций . . . . .	188
Морфология и строение рудных тел . . . . .	195
Основные рудоконтролирующие факторы, типовые модели месторождений . . . . .	197
Поисково-прогнозные критерии и признаки . . . . .	207
Методы прогноза и поисков . . . . .	210
Список литературы . . . . .	217

Мария Борисовна Бородаевская, Роальд Николаевич Володин,  
Анатолий-Иванович Кривцов и др.

ПОИСКИ МЕДНОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства *С. Г. Бароянц*  
Переплет художника *Г. И. Бронниковой*  
Художественный редактор *В. В. Евдокимов*  
Технический редактор *Л. Н. Шиманова*  
Корректор *И. Н. Таранева*

ИБ № 4998

---

Сдано в набор 23.07.84. Подписано в печать 22.11.84. Т-20180. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага книжно-журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая.  
Усл. печ. л. 13,75. Усл. кр.-отт. 14,0. Уч.-изд. л. 16,88. Тираж 1700 экз. Заказ 1126/8939—2.  
Цена 1 руб.

---

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19  
Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ

1руб.

18415

НЕДРА