СПРАВОЧНИК
по поискам и разведке месторождений цветных металлов

СПРАВОЧНИК

СПРАВОЧНИК

по поискам и разведке месторождений цветных металлов

18847

МОСКВА „НЕДРА" 1985

УДК 550.812.1:553.4(035)

Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов/ А. И. Кривцов, И. З. Самонов, Е. И. Филатов и др.— М.: Недра, 1985.— 324 с. ил.

Приведены сведения, необходимые для прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений меди, цинка, свинца, никеля и кобальта. Рассмотрены геохимия каждого металла, минералогия, области применения, геолого-промышленные типы месторождений, требования промышленности к качеству руд, технология переработки и возможности их комплексного использования. Проанализированы особенности разведки месторождений различных геолого-промышленных типов и дана их геолого-экономическая оценка.

Для инженеров геологов, ведущих геологические съемки, поиски и разведку месторождений цветных металлов.

Табл. 50, ил. 22, список лит.— 47 назв.

Авторы: А. И. Кривцов, И. З. Самонов, Е. И. Филатов, А. Ф. Фоминых, П. Я. Шабаршов

Рецензент: *А. В. Дружинин,* д-р геол.-минер. наук (Университет дружбы народов)

С $\frac{1904050000-185}{043(01)-85}$ 117—85

© Издательство «Недра», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года поставлены задачи по обеспечению опережающего роста разведанных запасов минерального сырья в недрах по сравнению с темпами развития добывающих отраслей промышленности, повышения экономической эффективности поисковых и разведочных работ и качества подготавливаемых запасов. В этой связи постоянное развитие и укрепление минерально-сырьевой базы цветных металлов — меди, свинца, цинка, никеля и др.,— имеет важнейшее народнохозяйственное значение.

Повышение эффективности поисковых и разведочных работ и качества подготавливаемых запасов цветных металлов требует совершенствования геологических основ регионального и локального прогнозирования месторождений, разработки и использования высокоэффективных прогнозно-поисковых комплексов, а также создания новых, более совершенных методов и технических средств поисков и разведки.

В настоящее время необходимо значительно расширить поиски скрытых месторождений, в первую очередь в районах действующих горнодобывающих предприятий и вновь создаваемых территориально-производственных комплексов. В связи с этим на известных и новых месторождениях целесообразен переход к разведочным работам на глубинах до двух тысяч метров.

Важнейшее значение для дальнейшего совершенствования организации и проведения геологоразведочных работ призваны сыграть новая классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов полезных ископаемых, утвержденная Советом Министров СССР в 1981 г., и ряд последующих директивных и методических указаний Мингео СССР и ГКЗ СССР, а также методические разработки научно-исследовательских организаций Мингео СССР — ЦНИГРИ, ВИМСа, ВИЭМСа и др.

Основные из этих материалов — методические разработки по совершенствованию стадийности геологоразведочных работ, оценке прогнозных ресурсов, определению требований к результатам работ по стадиям геологоразведочного процесса, рациональному комплексированию поисковых работ по главным геолого-промышленным типам месторождений (1982—1984 гг.), совершенствованию методов геологического контроля аналитических работ (1982 г.), геолого-экономической оценке месторождений, а также новые Инструкции ГКЗ СССР по применению классификации запасов к месторождениям меди, свинца и цинка, никеля и кобальта

(1983 г.) и «Требования к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов» (1982 г.) — использованы авторами при составлении Справочника. При этом особое внимание уделено суммированию и формулированию требований к результатам и качеству геологоразведочных работ на цветные металлы на разных стадиях их проведения — от регионального геологического изучения территории СССР до детальной разведки, геолого-экономической оценки и передачи в освоение новых разведываемых объектов.

МЕДЬ

Медь — важнейший металл, используемый человеком с глубокой древности. По уровню производства и потребления среди других металлов она занимает третье место после железа и алюминия.

Медь — металл желто-красного цвета, имеющий плотность 8,94 г/см^3, температуру плавления 1083 °С; обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью, хорошо обрабатывается давлением как в горячем, так и в холодном состоянии; образует сплавы, обладающие ценными свойствами, с цинком, алюминием, оловом, никелем, железом, марганцем, свинцом, бериллием, кремнием и другими элементами.

Медь и ее сплавы широко используются в важнейших отраслях промышленности (электротехнике, машиностроении, строительстве, военном деле), применяются для изготовления медицинских и бытовых приборов и оборудования, художественных изделий, чеканки монет.

В природных условиях медь образует крупные скопления, часто имеющие промышленное значение.

Среднее содержание меди в земной коре, по А. П. Виноградову, $4{,}7 \cdot 10^{-3}$ %. Наиболее высокое ее содержание характерно для основных ($1 \cdot 10^{-2}$ %), более низкое — для средних ($3{,}5 \cdot 10^{-3}$ %) и самое низкое — для кислых ($2 \cdot 10^{-3}$ %) магматических пород. Содержание меди в осадочных породах $5{,}7 \cdot 10^{-3}$ %, в почвах — $2 \cdot 10^{-3}$ %, в океанической воде — $3 \cdot 10^{-7}$ % [15].

Геохимические свойства меди определяются ее принадлежностью к группе халькофильных элементов (по В. М. Гольдшмидту), проявляющих химическое средство с серой. В связи с этим в большинстве промышленных месторождений медь присутствует в сульфидной форме. Исключение составляют только некоторые полностью окисленные первично сульфидные месторождения. Другие халькофильные элементы (Zn, Ga, Ge, As, Se, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb и Bi) в том или ином количестве постоянно сопутствуют меди в большинстве эндогенных месторождений. Кроме того, совместно с медью в сульфидных рудах, как правило, присутствуют железо, часто молибден, никель, нередко кобальт, рений и платиноиды.

В поверхностных условиях сульфиды меди неустойчивы и разлагаются. Медь переходит в двухвалентное состояние, преимущественно в сульфатную форму. Соли двухвалентной меди легко растворяются, что обусловливает широкую миграцию меди в вод-

ной среде в виде истинных и коллоидных растворов. Подвижность ионов двухвалентной меди в водных растворах зависит от кислотности среды и с понижением кислотности уменьшается. Осадителями меди из растворов служат карбонатные породы, сульфиды тяжелых металлов (пирит, сфалерит и др.), органические соединения.

В карбонатных породах, нейтрализующих кислотную среду, медь фиксируется в виде труднорастворимых карбонатов (малахит, азурит), возможно также появление разнообразных арсенатов, фосфатов, силикатов и других соединений; силикаты обычно осаждаются из гелей. В результате взаимодействия сульфата меди с сульфидами, в том числе и с халькопиритом, образуются вторичные сульфиды меди — халькозин, ковеллин, реже борнит, которые в восстановительной среде (ниже уровня грунтовых вод) концентрируются в зоне вторичного сульфидного обогащения (цементации). Куприт и тенорит, также как брошантит, атакамит и некоторые другие минералы, образуются в зоне окисления как промежуточные продукты окисления сульфидов. Обычно они быстро замещаются другими соединениями меди, наиболее часто малахитом. Иногда за счет восстановления куприта в поверхностных условиях образуется самородная медь.

Органические соединения, создающие восстановительные условия среды, способны осаждать медь из сульфатных растворов в форме сульфидов и других соединений. В частности, известны современные накопления меди в болотном торфе в форме металлоорганических соединений.

В природе известно около двухсот медьсодержащих минералов. Главные из них — халькопирит, борнит и халькозин, на долю которых приходится свыше 90 % мировых запасов и добычи меди. Кубанит в существенных количествах встречается только в медно-никелевых рудах. В этих же рудах в заметных количествах присутствуют и никельсодержащие минералы группы халькопирита — моихукит и талнахит. Блеклые руды и энаргит являются обычной примесью сульфидных руд; входящие в их состав мышьяк и сурьма — вредные примеси. Ковеллин вместе с вторичными халькозином и борнитом характерен для зоны вторичного сульфидного обогащения. Остальные минералы — карбонаты, сульфаты, оксихлориды и окислы меди — вторичны и распространены только в зоне окисления сульфидных месторождений. Самородная медь (обычно вместе с купритом) нередко встречается в зоне окисления месторождений различных типов, в то же время известны и самостоятельные месторождения в основных миндалекаменных эффузивах и агломератах.

За всю историю меднорудной промышленности в развитых капиталистических и развивающихся странах выплавлено 210 млн. т первичной черновой меди [32]. Общие запасы меди в этих странах на начало 1981 г. достигли 481,3 млн. т, в том числе 386,1 млн. т составляют доказанные запасы. Добыча меди из недр (по содержанию в концентратах) в 1980 г. составила 5882 тыс. т (табл. 1).

Таблица 1

Запасы, добыча, потребление, экспорт и импорт меди в развитых капиталистических и развивающихся странах [32]

Континенты и страны	Запасы		Добыча	Потребление	Экспорт	Импорт
	Всего	Доказанные				
	млн. т		тыс. т			
Все развитые капиталистические и развивающиеся страны	481,33	386,09	5882	7175	4840	5120
Развитые капиталистические страны	154,92	137,60	2536	6361	1840	4820
Европа	7,72	5,90	166	2736	—	—
Бельгия	—	—	—	304	306	510
Великобритания	—	—	—	409	33	346
Испания	3,80	3,50	40	135	33	120
Италия	0,06	0,03	1	388	—	375
ФРГ	0,06	0,03	1	748	101	1052
Франция	—	—	—	433	15	430
Швеция	1,50	0,80	46	105	25	101
Азия	2,20	1,70	53	1325	—	—
Япония	2,00	1,50	53	1325	206	1200
Африка	7,00	5,00	53	90	135	2
Америка	132,00	120,00	1885	2075	—	—
Канада	32,00	28,00	710	209	641	25
США	100,00	92,00	1175	1866	130	534
Австралия и Океания	6,00	5,00	217	130	120	—
Развивающиеся страны	326,41	248,49	3346	814	3000	300
Азия	49,42	30,38	497	303	—	—
Индия	4,00	3,00	27	71	—	54
Индонезия	0,80	0,80	56	—	—	60
Иран	13,00	7,00	5	6	—	—
Филиппины	18,00	12,00	305	—	301	—
Африка	95,41	59,29	1149	26	—	—
Заир	36,00	22,00	460	—	461	—
Замбия	54,00	34,00	596	—	617	—
Америка	171,58	150,32	1608	485	—	—
Аргентина	6,00	4,00	—	43	—	—
Бразилия	2,00	1,00	2	246	—	192
Мексика	17,00	12,00	167	123	—	—
Перу	32,00	26,00	365	43	352	—
Чили	100,00	97,00	1068	52	1008	—
Австралия и Океания	10,00	8,50	147	—	142	—

Примечание. В табл. 1—6 данные по добыче, потреблению, экспорту и импорту приведены по оценке 1980 г., по запасам — начала 1981 г.

Таблица 2

Ресурсы меди в развитых капиталистических и развивающихся странах по оценке Геологической службы и Горного бюро США на начало 1981 г. [32]

Континенты и страны	Всего		В том числе			
			Запасы		Другие ресурсы *	
	млн. т	%	млн. т	%	млн. т	%
Европа и Ближний Восток	58	4,2	22	5,1	36	3,8
Азия	91	6,5	27	6,2	64	6,7
Африка	178	12,8	69	15,9	109	11,3
в том числе:						
Заир	51	3,6	24	5,5	27	2,8
Замбия	97	7,0	33	7,6	64	6,7
Америка	991	71,0	293	67,5	698	72,6
в том числе:						
США	382	27,4	92	21,2	290	30,2
Канада	141	10,1	32	7,4	109	11,3
Чили	269	19,3	97	22,4	172	17,9
Перу	68	4,9	32	7,4	36	3,7
Австралия и Океания	77	5,5	32	5,3	54	5,6
Итого	1395	100	434	100	961	100
в том числе:						
Развитые капиталистические страны	581	41,6	148	34,1	433	45,3
Развивающиеся страны	814	58,4	286	65,9	528	54,9
Кроме того, морские конкреции	689	100	—	—	689	100
Всего	2084	100	434	20,8	1650	79,2

* Выявленные условно рентабельные и необнаруженные.

Свыше 70 % общих запасов и добычи меди приходится на шесть стран — США, Чили, Канаду, Замбию, Заир и Перу. Общие ресурсы меди в развитых капиталистических и развивающихся странах (выявленные, включая условно рентабельные, и необнаруженные), по оценке Геологической службы и Горного бюро США, на начало 1981 г. составляли 1395 млн. т (табл. 2).

Общее потребление рафинированной меди в развитых капиталистических и развивающихся странах в 1980 г. составляло 7,2 млн. т, причем в развивающихся странах оно было ниже, чем в развитых капиталистических странах в 7,8 раза по абсолютному значению и в 25,5 раза в расчете на душу населения. Основные потребители меди в 1980 г.: США (29,3 %), Япония (20,8 %), ФРГ (11,8 %), Великобритания (6,4 %).

Распределение потребления меди и ее сплавов по основным областям их применения в развитых капиталистических и разви-

вающихся странах в 1961—1980 гг. в среднем было следующим (в %): электротехническая промышленность — 52, машиностроение — 14, строительство — 14, транспортное машиностроение — 12, производство потребительских товаров — 8. В последнее десятилетие применяют в производстве электромобилей и установок солнечной энергии, стального проката, плакированного медью или ее сплавами, при изготовлении железнодорожных рельсов, корпусов судов, прибрежных сооружений и морских платформ для добычи полезных ископаемых, опреснительных установок, гранулированных медьсодержащих инсектицидов и др.

Несоответствие объемов собственной добычи и потребления меди в большинстве развитых капиталистических и развивающихся стран обусловило большой объем международной торговли этим металлом (см. табл. 1). Около 70 % производимого в мире металла поступает на международный рынок.

В 1980 г. наиболее крупными экспортерами собственной меди являлись развивающиеся страны — Чили, Замбия, Заир, Перу, Филиппины и Папуа-Новая Гвинея, а также развитые капиталистические страны — Канада, ЮАР и Австралия; в значительном объеме реэкспортировали медь Бельгия, Япония и США. Наиболее крупные импортеры меди — Япония и страны Западной Европы (ФРГ, Франция, Италия и Великобритания), практически лишенные собственной сырьевой базы этого металла, а также США; из развивающихся стран — Бразилия.

До середины 60-х годов во внешней торговле медью преобладал металл (более 90 %), а руды и концентраты играли подчиненную роль. К 1980 г. доля последних в суммарном экспорте металла возросла до 25 %.

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 примерно в 1,5 раза. В 1981 и 1982 гг. они составляли соответственно 1749 и 1485 долл. за 1 т. Постоянный рост цен обусловлен снижением содержания металла в добываемых рудах, увеличением глубины отработки месторождений, инфляцией, повышением цен на материалы и энергоносители, большими затратами на охрану окружающей среды и другими причинами.

СВИНЕЦ И ЦИНК

Свинец и цинк являются важнейшими металлами, широко используемыми в промышленности. По уровню производства и потребления среди других цветных металлов они уступают только алюминию и меди.

Свинец — тяжелый металл голубовато-серого цвета, имеющий плотность 11,34 г/см^3, температуру плавления 327,4 °С; очень пластичный, мягкий (легко режется и прокатывается); обладает

хорошими антифрикционными и антикоррозионными свойствами, устойчив к действию атмосферных осадков и многих химических реагентов, сильно поглощает γ-лучи и рентгеновские лучи.

Свинец широко применяется в производстве аккумуляторов, для изготовления заводской аппаратуры, стойкой в агрессивных газах и жидкостях, входит в состав ряда сплавов (баббитов, типографского и др.). Большое количество свинца идет на изготовление оболочек электрических кабелей и производство красок (белил, сурика, глета) и дроби. С расширением использования атомной энергии возрастает потребление свинца для защиты от радиоактивного излучения.

Цинк — металл синевато-белого цвета, имеющий плотность 7,1 г/см^3 и температуру плавления 419,5 °С; хорошо поддается прокатке и прессованию, устойчив к действию атмосферных осадков.

Цинк используется главным образом в качестве антикоррозионных покрытий при оцинковании поверхностей. Значительное количество его потребляется в различного рода сплавах с добавкой алюминия, меди и магния, обладающих хорошими литейными качествами и широко использующихся для литья под давлением. Существенное количество цинка расходуется на производство латуни. Цинк входит в состав мельхиора, антифрикционного и типографского сплавов, применяется при изготовлении аккумуляторных батарей, при извлечении золота и серебра в процессе рафинирования свинца на металлургических заводах. Окись цинка используется для изготовления цинковых белил, в качестве наполнителя при производстве резины; в гидрометаллургии — для очистки сернокислого цинка от свиинца, меди и кадмия, а также в медицине и химической промышленности.

В природных условиях свинец и цинк обычно встречаются совместно и часто образуют крупные (до 10 млн. т и более суммы металлов) скопления в разнообразных геологических обстановках.

Средние содержания свинца и цинка в земной коре, по А. П. Виноградову, составляют соответственно, $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ и $8{,}3 \cdot 10^{-3}$ %. Для основных пород характерны наиболее низкие содержания свинца ($8 \cdot 10^{-4}$ %) и наиболее высокие цинка ($1{,}3 \cdot 10^{-2}$ %), для средних пород — промежуточные, соответственно $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ и $7{,}2 \cdot 10^{-3}$ %, для кислых пород — наиболее высокие свинца ($2 \cdot 10^{-3}$ %) и наиболее низкие цинка ($5 \cdot 10^{-3}$ %). Содержания свинца и цинка соответственно в осадочных породах — $2 \cdot 10^{-3}$ и $8 \cdot 10^{-3}$ %, в почвах — $1 \cdot 10^{-3}$ и $5 \cdot 10^{-6}$ % [15].

Свинец и цинк принадлежат к группе халькофильных элементов (по В. М. Гольдшмидту), в связи с чем в эндогенных промышленных месторождениях присутствуют только в форме сульфидов или сульфосолей. Другие халькофильные элементы (Cu, Ga, Ge, As, Se, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl и Bi) являются постоянной примесью в эндогенных свинец- и цинксодержащих рудах. Сульфид цинка (сфалерит) в природных условиях служит главным минералом-концентратором кадмия, индия, гал-

лия и иногда таллия, которые в существенных количествах извлекаются из цинковых концентратов. Главный сульфид свинца (галенит) часто является основным минералом-концентратором серебра; содержание других рассеянных элементов в минералах свинца существенно ниже, чем в минералах меди и цинка.

Галенит в поверхностных условиях неустойчив и быстро замещается первоначально сульфатом (англезитом), затем карбонатом (церусситом). И тот и другой обладают ничтожной растворимостью и сохраняются обычно на месте их образования. Продуктом разрушения природных сульфосолей свинца (буланжерита, джемсонита, бурнонита и др.) в конечном счете также является церуссит. В связи с этим значительной миграции свинца в зоне окисления обычно не происходит. Некоторый вынос свинца возможен только в форме бикарбоната, иногда образующегося за счет разрушения церуссита.

Сульфиды цинка (сфалерит, вюртцит) принадлежат к числу наиболее легко окисляемых сульфидов, поэтому в поверхностных условиях они быстро разрушаются с переходом цинка в форму сульфата, обладающего исключительно большой растворимостью. Последний в пределах зоны окисления легко мигрирует и уносится на значительные расстояния от места образования. Главным осадителем цинка из сульфатных растворов служат карбонатные породы (известняки, доломиты), в которых цинк фиксируется в виде труднорастворимых карбонатных соединений (смитсонита, гидроцинкита) и иногда в виде силикатов (каламина, виллемита), образующихся за счет дальнейшей переработки карбонатов цинка циркулирующими природными водами [43].

В природе известно около 180 минералов свинца и более 60 минералов цинка, но промышленное значение имеют немногие из них. Главнейшие минералы свинцово-цинковых руд — сульфиды, сульфосоли и карбонаты.

Главным минералом свинца, имеющим промышленное значение, является галенит. На его долю приходится свыше 90 % запасов и добычи этого металла. Содержание примесей в галените обычно незначительное, кроме серебра, содержание которого достигает 0,1 % (часто в виде аргентита Ag_2S), а иногда висмута (до 1 %). Сульфосоли свинца (буланжерит, джемсонит, бурнонит) в первичных рудах часто встречаются совместно с галенитом, но самостоятельного промышленного значения обычно не имеют. Церуссит — главный минерал окисленных руд свинца, используемый промышленностью. Совместно с ним в небольшом количестве часто присутствуют англезит и другие минералы — сульфаты (плюмбоярозит), фосфаты (пироморфит), арсенаты (миметезит, бедантит), ванадаты (ванадинит), молибдаты (вульфенит) и другие, как правило, не имеющие самостоятельного значения.

Главным и единственным эндогенным минералом цинка, имеющим промышленное значение, является сфалерит (и его гексагональная модификация — вюртцит). На его долю приходится свыше 95 % мировых запасов и добычи этого металла. В состав

сфалерита в виде изоморфной примеси обычно входят железо (до 20 %), кадмий (до 0,1 %), индий, галлий (до 10^{-2} %), иногда марганец, ртуть и др. Богатая железом темноокрашенная разновидность сфалерита называется марматитом, богатая кадмием (до 5 %) — пршибрамитом, светлоокрашенная, почти лишенная примесей — клейофаном. Смитсонит является главным цинковым минералом зоны окисления. В карбонатных породах он иногда образует самостоятельные вторичные скопления богатых цинковых руд. Совместно со смитсонитом в зоне окисления часто присутствуют гидроцинкит, каламин, виллемит, обычно не имеющие самостоятельного практического значения.

Широкое использование новейших достижений науки и техники в экономическом развитии всех стран в XX столетии предопределило активное развитие всех отраслей промышленности, в том числе и свинцово-цинковой. За последние 80 лет в развитых капиталистических и развивающихся странах было получено в концентратах 118 млн. т свинца и 157 млн. т цинка. Общие запасы свинца и цинка в этих странах на начало 1981 г. составили соответственно 126,6 и 202,8 млн. т, в том числе доказанные запасы 109,1 и 148,6 млн. т (табл. 3 и 4).

Более половины запасов свинца и цинка развитых капиталистических и развивающихся стран сосредоточено в США, Канаде, Австралии, ЮАР, Мексике и Перу. Сырьевая база свинца и цинка Японии весьма незначительна, а в важнейших странах Западной Европы запасы этих металлов либо очень ограничены, либо отсутствуют вовсе.

Производство свинца и цинка в концентратах в развитых капиталистических и развивающихся странах в 1980 г. достигло 2,4 и 4,4 млн. т соответственно. Потребление их в 1980 г. (с учетом вторичного металла) составило 3,7 и 4,6 млн. т. При этом уровень потребления свинца в развитых капиталистических странах был выше, чем в развивающихся в 6,1 и цинка — в 4,4 раза (см. табл. 3 и 4). Основными потребителями свинца и цинка в капиталистическом мире являются (в %): США (27,3 и 17,6), Япония (10,6 и 16,3), ФРГ (9,0 и 8,9), Великобритания (8,0 и 3,9), Франция (5,7 и 7,1) и Италия (7,4 и 5,1).

Распределение потребления свинца и цинка и их сплавов с другими металлами по основным областям их применения в развитых капиталистических и развивающихся странах следующее (в %): свинец — производство аккумуляторов (41,6), тетраэтилсвинца (1,6), красителей и химикатов (11,6), сплавов (11,0), оболочек кабелей (8,6), листов и труб (7,0); цинк — цинкование металлоконструкций и листового железа (41,3), производство сплавов для литья под давлением (23,0), латуни (17,0), окиси цинка (7,6) и цинкового проката (7,0).

В последние десятилетия свинец находит все более широкое применение в изоляционных устройствах атомных реакторов АЭС и кораблей-атомоходов. Цинк широко используется в телевидении (в качестве составных частей люминофоров), а также в изготов-

Таблица 3

Запасы, добыча, потребление, экспорт и импорт свинца в развитых капиталистических и развивающихся странах [6]

Континенты и страны	Запасы		Добыча	Потребление	Экспорт	Импорт
	Всего	Доказанные				
	млн. т		тыс. т			
Все развитые капиталистические и развивающиеся страны	126,6	109,1	2403	3700	1790	1652
Развитые капиталистические страны	99,4	91,4	1727	3181	1290	1500
Европа	15,2	10,2	343	1542	590	1045
Ирландия	2,1	1,2	59	6	60	5
Бельгия	—	—	—	59	80	85
Великобритания	0,05	0,03	2	296	110	245
Испания	4,5	3,3	72	114	—	40
Италия	0,9	0,7	28	275	25	160
Франция	0,7	0,4	29	212	45	140
ФРГ	4,0	1,8	24	333	100	235
Швеция	2,2	2,2	72	20	80	—
Азия						
Япония	0,8	0,8	45	392	10	175
Африка						
ЮАР	6,0	3,0	89	53	—	—
Америка	61,2	61,2	860	1114	330	270
Канада	11,2	11,2	297	104	280	5
США	50,0	50,0	563	1010	50	265
Австралия	16,2	16,2	390	80	360	10
Развивающиеся страны	27,2	17,7	676	519	500	152
Азия	10,2	4,7	66	208	30	60
Индия	3,5	0,9	15	54	—	40
Иран	3,5	1,8	14	15	10	—
Турция	1,2	0,6	10	10	5	10
Африка	4,3	3,8	182	51	175	12
Замбия	0,3	0,3	10	5	10	—
Марокко	1,4	1,4	118	5	110	2
Намибия	0,7	0,5	37	5	25	—
Америка	12,7	9,2	428	260	295	80
Аргентина	0,9	0,9	31	28	—	10
Бразилия	0,7	0,4	24	83	—	60
Мексика	6,0	4,0	152	96	85	—
Перу	4,3	3,2	186	15	170	—

лении цинкхлоридных и никель-цинковых аккумуляторов для электромобилей.

Существенные различия в добыче, производстве и потреблении свинца и цинка в различных странах обусловили большие объемы международных экспортно-импортных операций по этим металлам — около 50 % производимого в мире свинца и 80 % цинка поступает на мировой рынок (см. табл. 3 и 4). Основными

Таблица 4

Запасы, добыча, потребление, экспорт и импорт цинка в развитых капиталистических и развивающихся странах [6]

Континенты и страны	Запасы		Добыча	Потребление	Экспорт	Импорт
	Всего	Доказанные				
	млн. т		тыс. т			
Все развитые капиталистические и развивающиеся страны	202,8	148,6	4403	4647	3720	3345
Развитые капиталистические страны	151,4	116,9	3191	3816	2825	3145
Европа	29,9	19,4	1007	1660	1265	1845
Ирландия	8,5	5,6	227	7	220	—
Бельгия	—	—	—	157	200	260
Великобритания	0,03	0,02	—	181	—	270
Испания	6,6	5,4	170	105	90	70
Италия	2,0	1,7	68	236	35	170
Франция	0,8	0,3	36	330	70	310
ФРГ	5,0	1,8	121	412	125	370
Швеция	2,5	2,5	167	40	140	40
Азия						
Япония	4,0	4,0	238	756	60	480
Африка						
ЮАР	12,0	6,0	65	84	—	—
Америка	81,5	63,5	1404	1200	1080	820
Канада	33,5	33,5	1059	132	1050	—
США	48,0	30,0	345	816	30	820
Австралия	24,0	24,0	477	116	420	—
Развивающиеся страны	51,4	31,7	1212	831	895	200
Азия	19,2	9,5	152	423	75	100
Индия	5,6	2,2	26	106	—	50
Иран	6,0	4,0	24	20	50	—
Турция	3,6	1,0	26	25	15	20
Африка	7,1	4,8	158	84	170	10
Заир	1,6	0,8	73	3	50	—
Замбия	0,6	0,6	25	1	40	—
Марокко	0,5	0,5	10	—	10	—
Намибия	1,0	0,7	28	2	30	—
Америка	25,1	17,4	902	324	650	90
Аргентина	1,0	0,5	37	40	—	10
Бразилия	2,2	1,4	48	138	—	60
Мексика	9,5	6,0	239	89	180	—
Перу	10,0	7,3	484	30	400	—

импортерами свинца и цинка являются развитые капиталистические страны Западной Европы (Великобритания, Франция, ФРГ, Италия и др.) и Япония с ограниченными собственными ресурсами этих металлов, а также США. Около 9 % суммарного импорта свинца и 6 % цинка в 1980 г. приходилось на развивающиеся страны. Наиболее крупными экспортерами свинца и цинка из развитых капиталистических стран являются Канада и Авст-

ралия, из развивающихся — Перу и Мексика. Доля развивающихся стран в суммарном экспорте свинца составляет 28 %, цинка — 24 %. Во внешней торговле свинцом в 1961—1980 гг. преобладал металл, а цинком — руды и концентраты.

Международные торговые операции по свинцу и цинку осуществляются в соответствии с их котировочными ценами, в установлении которых важную роль играет Лондонская биржа металлов (ЛБМ). Среднегодовые цены на рафинированный свинец и чушковый цинк в 1961—1980 гг. на ЛБМ колебались в пределах 200—850 долл. за 1 т свинца и 250—750 долл. за 1 т цинка и возросли за этот период соответственно в 4,4 и 3,0 раза. Постоянный рост цен обусловлен как снижением содержания металлов в добываемых рудах и увеличением глубины отработки месторождений, так и ростом цен на материалы и электроэнергию, повышением затрат на охрану окружающей среды и другими причинами.

НИКЕЛЬ И КОБАЛЬТ

Никель и кобальт являются важнейшими металлами, широко используемыми в промышленности, благодаря их ценным физическим и химическим свойствам.

Никель — серебристо-белый металл, имеющий плотность 8,90 г/см^3, температуру плавления 1452 °С; обладает ферромагнитностью, сильным блеском, хорошо полируется, поддается прокатке, ковке и сварке, легко вытягивается в проволоку.

Кобальт — металл белого цвета с красноватым оттенком, имеющий плотность 8,83 г/см^3, температуру плавления 1493 °С; отличается сильной и устойчивой ферромагнитностью, ковкостью и тягучестью.

Никель и кобальт на воздухе в обычных условиях не окисляются. Никель покрывается тонкой окисной пленкой, защищающей его от воздействия влаги; проявляет стойкость при нагревании; не подвергается коррозии в едком натре, едком кали и в безводном аммиаке. На никель не действуют сухие окислы азота, сернистый газ, галогены, жирные кислоты. Разбавленные серная и соляная кислоты действуют на кобальт и никель менее энергично, чем на железо, однако оба эти металла легко растворяются в разбавленной азотной кислоте.

Основная часть никеля (87 %) используется для производства жаропрочных, конструкционных, инструментальных, нержавеющих сталей и сплавов, небольшая часть — для производства никелевого и медно-никелевого проката (7 %) и никелирования различных изделий (6 %). В чистом виде никель применяется главным образом в качестве антикоррозионного покрытия стальных изделий. Электролитическое покрытие применяется также на чугуне, алюминии, цинке, магнии (дюралюминиевые лопасти самолетных винтов и др.).

Плавленый и ковкий никель применяется в виде листов, труб, проволоки, идет на изготовление тиглей, конденсаторов и

деталей различных приборов, аккумуляторных электродов, разнообразной аппаратуры для химической и пищевой промышленности, а также в реактивной авиации, ракетостроении, атомной технике и ряде новых областей (радиолокация, телеуправление, ультразвуковые установки и др.).

Кобальт используется преимущественно в производстве магнитных, тугоплавких сплавов (70 %), жаростойких, быстрорежущих и твердых сталей и сплавов (10 %) и в лакокрасочном производстве (13 %). В небольших количествах кобальт применяется для получения яркоокрашенных синих глазурей и стекол, в керамической, стекольной промышленности, в производстве эмалированных изделий, в атомной технике, в качестве катализатора в нефтехимической промышленности, в производстве химических реактивов, в медицине, в составе микроудобрений и в смесях для подкормки скота в сельском хозяйстве.

Никель и кобальт получают из медно-никелевых, кобальт-никелевых, кобальт-никель-серебряных, медных и магнетитовых руд.

Среднее содержание никеля в земной коре, по А. П. Виноградову, $5{,}8 \cdot 10^{-3}$ %, кобальта — $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ %, при этом кларковые содержания никеля и кобальта повышаются от кислых ($8 \cdot 10^{-4}$ % никеля и $5 \cdot 10^{-4}$ % кобальта) к основным ($1{,}6 \cdot 10^{-2}$ % никеля) и ультраосновным ($2{,}2 \cdot 10^{-1}$ % никеля и $2 \cdot 10^{-2}$ % кобальта) магматическим породам [15]. В соответствии с этим промышленные концентрации никеля и кобальта ассоциируют главным образом с базит-гипербазитовыми магмами, связанными с подкоровыми очагами. При наличии серы, которая также как никель, медь и железо, имеет глубинный источник, эти металлы обособляются в виде сульфидов.

В настоящее время известно свыше 130 минералов никеля и кобальта, в которых эти элементы являются главными или одними из главных, и примерно 150 никель- и кобальтсодержащих минералов, где никель и кобальт образуют примеси, содержание которых меняется от сотых долей процента до десяти и более процентов.

Главные минералы первичных никелевых и кобальтовых руд — пентландит, никелин, миллерит, хлоантит, полидимит, герсдорфит, линнеит, кобальтин, глаукодот и саффлорит. В силикатных рудах коры выветривания наиболее распространены гарниерит, непуит (ревдинскит), асболан, никелевый керолит, нонтронит и вермикулит.

Пентландит широко распространен в сульфидных медно-никелевых месторождениях, где он ассоциируется с пирротином. Вместе с ним отмечаются миллерит, годлевскит и хизлевудит. Никелин часто встречается в гидротермальных кобальт-никель-серебряных и уран-висмутовых месторождениях в ассоциации с хлоантитом, герсдорфитом, а также с самородным висмутом, самородным серебром и другими минералами.

Среди сульфидов никеля и кобальта группы линнеита по количественным соотношениям между кобальтом, никелем и железом

выделяются минералы: кобальтовые — линнеит и карролит, кобальт-никелевые — зигенит и флетчерит, никелевый — полидимит и железо-никелевый — виоларит. Среди диарсенидов никеля и кобальта относительно широким распространением пользуются раммельсбергит и саффлорит, которые наиболее характерны для гидротермальных мышьяково-никель-кобальтовых месторождений. Сульфоарсениды кобальта и никеля (кобальтин и герсдорфит) широко распространены в рудах гидротермальных кобальтовых и мышьяково-кобальт-никелевых месторождений, встречаются также в виде рассеянной вкрапленности в кобальтоносных скарнах, медноколчеданных и сульфидных медно-никелевых месторождениях.

В поверхностных условиях сульфиды никеля неустойчивы и переходят в аннабергит. При разложении первичных кобальтсодержащих арсенидов и сульфидов в зоне окисления обычно образуются гидроокислы кобальта — стениерит и гетерогенит. В значительных скоплениях они известны в уникальных кобальт-медных месторождениях Центральной Африки как конечные продукты разложения линнеита, карролита и кобальтсодержащего пирита.

Среди силикатов распространены разнообразные никелевые и никельсодержащие минералы, связанные преимущественно с корой выветривания ультраосновных пород. Наиболее широким распространением в силикатных никелевых месторождениях пользуются непуит, гарниерит, ревдинскит, никелевый керолит, конарит, гимнит и никельгимнит. Среди глинистых минералов к никель- и кобальтсодержащим относятся главным образом железо-магнезиальные разновидности монтмориллонита (нонтронит) и вермикулита.

Арсенаты кобальта и никеля и кобальт-никельсодержащие арсенаты распространены исключительно в зоне окисления сульфоарсенидных кобальт-никелевых месторождений. В зоне окисления они неустойчивы и не образуют крупных скоплений, представляющих практический интерес. Однако вследствие яркой розовато-красной и яблочно-зеленой, а также голубовато-зеленой и ярко-желтой окраски они имеют особое значение как важнейшие поисковые признаки мышьяково-кобальтового и мышьяково-никель-кобальтового оруденения. Наиболее распространены среди арсенатов никеля и кобальта минералы группы эритрина-аннабергита.

Общие запасы никеля и кобальта в развитых капиталистических и развивающихся странах на начало 1981 г. составляли: никеля — 59,1 млн. т и кобальта — 2862 тыс. т (табл. 5 и 6). Причем в развитых капиталистических странах около 80 % запасов никеля сосредоточено в сульфидных медно-никелевых месторождениях (Канада, ЮАР, Австралия), а в развивающихся странах, территориально расположенных в основном в тропической и субтропической зонах, более 95 % — в силикатных рудах коры выветривания (Новая Каледония, Индонезия, Бразилия, Колумбия, Доминиканская Республика).

138417

Таблица 5

Запасы, добыча, потребление, экспорт и импорт никеля в развитых капиталистических и развивающихся странах

Континенты и страны	Запасы		Добыча	Потребление	Экспорт*	Импорт*
	Всего	Доказанные				
	млн. т		тыс. т			
Все развитые капиталистические и развивающиеся страны	59,1	36,3	547,2	528,5	—	—
Развитые капиталистические страны	18,6	12,7	326,5	499,6	—	—
Европа	2,6	1,1	21,6	—	—	—
Великобритания	—	—	—	22,8	9,6	58,5
Греция	2,5	1,0	14,6	—	—	—
Италия	—	—	—	27,1	—	—
Норвегия	—	—	0,6	—	31,2	89,8
Финляндия	0,1	0,1	6,4	—	—	—
ФРГ	—	—	—	68,0	—	123,9
Франция	—	—	—	38,4	—	18,0
Швеция	—	—	—	20,0	—	—
Азия						
Япония	—	—	—	122,0	—	177,1
Африка						
ЮАР	5,8	2,0	25,7	—	—	—
Америка	8,1	7,5	209,4	—	—	—
Канада	7,8	7,2	194,9	12,0	147,7	—
США	0,3	0,3	14,5	148,2	—	154,4
Австралия и Океания	2,1	2,1	69,8	—	—	—
Развивающиеся страны	40,5	23,6	220,7	28,9	—	—
Азия	5,8	4,8	79,0	—	—	—
Бирма	—	—	0,1	—	—	—
Индия	0,1	0,1	—	7,0	—	—
Индонезия	4,5	3,7	40,6	—	—	—
Филиппины	1,2	1,0	38,3	—	—	—
Африка	1,3	1,2	30,5	—	—	—
Ботсвана	0,4	0,4	15,4	—	—	—
Зимбабве	0,5	0,5	14,6	—	—	—
Мадагаскар	0,4	0,3	—	—	—	—
Марокко	—	—	0,5	—	—	—
Америка	7,2	3,9	24,9	—	—	—
Бразилия	2,0	1,0	2,5	11,2	—	—
Венесуэла	0,6	0,5	—	—	—	—
Гватемала	0,9	0,6	6,9	—	—	—
Доминиканская Республика	1,1	0,9	15,5	—	—	—
Колумбия	1,9	0,5	—	—	—	—
Мексика	—	—	—	3,0	—	—
Пуэрто-Рико	0,7	0,4	—	—	—	—
Австралия и Океания	26,2	13,2	86,3	—	—	—
Новая Каледония	26,0	13,6	86,3	—	85,9	—
Соломоновы Острова	0,2	0,1	—	—	—	—

* Включая руды, концентраты, штейн, окись никеля (по содержанию металла), рафинированный металл и ферроникель.

Таблица 6
Запасы, добыча, потребление, экспорт и импорт кобальта в развитых капиталистических и развивающихся странах, в тыс. т

Континенты и страны	Запасы		Добыча	Потребление	Экспорт	Импорт
	Всего	Доказанные				
	млн. т		тыс. т			
Все развитые капиталистические и развивающиеся страны	2862	1852	32,64	20,0	25,54	22,76
Развитые капиталистические страны	531	413	6,24	—	8,24	21,86
Европа	30	30	1,20	7,20	—	—
Бельгия	—	—	—	—	3,0	—
Великобритания	—	—	—	2,50	0,60	3,00
Италия	—	—	—	0,70	—	0,70
Нидерланды	—	—	—	—	0,12	0,10
Норвегия	—	—	—	—	0,80	0,01
Финляндия	30	30	1,20	—	0,90	0,04
Франция	—	—	—	1,20	0,70	1,80
ФРГ	—	—	—	2,20	0,30	2,30
Швеция	—	—	—	0,60	0,02	0,60
Азия						
Япония	6	3	0,20	2,20	—	3,50
Африка						
ЮАР	—	—	—	—	—	0,01
Америка	275	200	1,59	9,80	—	—
Канада	175	150	1,59	0,30	1,40	—
США	100	50	—	9,50	0,40	9,50
Австралия и Океания	220	180	3,25	0,20	—	0,10
Развивающиеся страны	2331	1439	26,40	—	17,30	0,90
Азия	501	413	2,66	—	—	—
Бирма	15	10	—	—	—	—
Индия	6	3	—	—	—	0,20
Индонезия	290	250	1,15	—	—	—
Филиппины	190	150	1,51	—	—	—
Африка	1113	629	19,44	—	—	—
Ботсвана	26	20	0,31	—	—	—
Заир	680	450	14,70	—	14,0	—
Замбия	350	115	3,31	—	2,0	—
Зимбабве	30	20	0,12	—	—	—
Марокко	14	14	1,00	—	1,30	—
Уганда	13	10	—	—	—	—
Америка	244	125	—	—	—	—
Аргентина	—	—	—	—	—	0,15
Бразилия	9	—	—	—	—	0,35
Венесуэла	10	10	—	—	—	—
Гватемала	45	25	—	—	—	—
Доминиканская Республика	90	50	—	—	—	—
Колумбия	20	10	—	—	—	—
Мексика	—	—	—	—	—	0,20
Пуэрто-Рико	70	30	—	—	—	—
Австралия и Океания	473	272	4,30	—	—	—
Новая Каледония	450	272	4,30	—	—	—
Соломоновы Острова	23	—	—	—	—	—

Добыча никеля в промышленно развитых капиталистических и развивающихся странах в 1980 г. достигла 547 тыс. т (см. табл. 5).

Основные запасы кобальта в развитых капиталистических странах сосредоточены в сульфидных медно-никелевых рудах Канады и Австралии (около 75 %) и силикатных никелевых рудах Австралии и США, в то время как в развивающихся странах около 45 % запасов кобальта заключено в месторождениях типа медистых песчаников и сланцев (Заир, Замбия) и свыше 50 % в силикатных никелевых рудах коры выветривания (Новая Каледония, Индонезия, Филиппины и др.).

Производство кобальта в концентратах в развитых капиталистических и развивающихся странах в 1980 г. достигло 32,6 тыс. т (см. табл. 6).

Общее потребление никеля и кобальта в 1980 г. составило 528 тыс. т и 20 тыс. т соответственно. Крупнейшими потребителями никеля и кобальта в капиталистическом мире являются (в %): США (28,1 и 47,5), Япония (23,1 и 11,0) и страны Западной Европы — ФРГ (12,9 и 11,0), Великобритания (4,3 и 12,5), Франция (7,3 и 6,0).

Отсутствие собственных никель- и кобальтпотребляющих отраслей промышленности в развивающихся странах побуждает их практически весь добываемый и производимый металл поставлять в развитые капиталистические страны.

В объеме внешнеторгового оборота никель занимает одно из ведущих мест среди цветных металлов. Среднегодовые цены на электролитический никель в 1961—1980 гг. на ЛБМ колебались в пределах 1630—6800 долл. за 1 т, и возросли за этот период более чем в 4 раза. Среднегодовые цены на кобальт в 1961—1980 гг. менялись в пределах от 1,5 до 25 долл. за фунт (453,6 г). Постоянный рост цен на различные виды никелевой и кобальтовой товарной продукции обусловлен как значительным увеличением удельных капиталовложений в новое строительство, так и ростом цен на нефть, увеличением стоимости энергоносителей, повышением затрат на охрану окружающей среды, соотношением производства и спроса металлов и другими причинами.

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КАТЕГОРИИ МЕТАЛЛОГЕНИИ

Значительная роль в ускорении научно-технического прогресса в области развития минерально-сырьевой базы СССР, увеличении разведанных запасов и расширении сырьевой базы действующих предприятий принадлежит научному обоснованию прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых на базе современных достижений металлогении и металлогенических исследований.

Металлогения — наука о закономерностях возникновения и размещения в пространстве и времени месторождений рудных полезных ископаемых (более широкий термин «минерагения» предполагает включение в число исследуемых объектов и месторождений нерудных полезных ископаемых, т. е всех видов минерального сырья). Металлогения исследует соотношения и связи рудообразующих процессов с другими геологическими процессами, определяет положение рудогенеза в развитии земной коры и выявляет закономерности размещения месторождений полезных ископаемых, составляющие основу прогноза потенциально рудоносных площадей и обеспечивающие выбор эффективных направлений поисковых работ.

Возникновение и становление металлогении как самостоятельной науки в ряду наук о Земле вызвано требованиями материального производства. Широкое развитие геологических исследований постепенно привело к ограничению возможностей обнаружения месторождений по выходам на дневную поверхность и прямым поисковым признакам. Задачи расширения сырьевой базы промышленности требуют эффективного ведения поисков в новых условиях — на основе познанных закономерностей возникновения и размещения месторождений с учетом обстановок их нахождения, позволяющих обосновывать возможности обнаружения новых объектов на тех или иных площадях в скрытом залегании.

Понятие «металлогения» было введено в 1913 г. Л. де Лоне. Современный уровень металлогении обеспечен главным образом трудами советских ученых, исследования которых базируются на анализе связей месторождений с геологической средой, со структурным и историко-геологическим ее развитием. Именно эти направления были заложены основателями советской металлогенической школы — В. А. Обручевым, С. С. Смирновым, Ю. А. Билибиным. Значительный вклад в металлогеническую науку внесен работами В. И. Смирнова, Е. Т. Шаталова, В. А. Кузнецова,

И. Г. Магакьяна, Д. И. Горжевского, Г. А. Твалчрелидзе, Е. А. Радкевич, А. Д. Щеглова, А. И. Семенова, Ю. Г. Старицкого, Д. В. Рундквиста, В. Н. Козеренко.

За рубежом близкие принципы металлогенических исследований развивались в работах П. Лаффита, П. Рутье, А. Циссарца, Г. Борхерта, Л. Баумана, Г. Тишендорфа и др.

В своем развитии металлогения как наука прошла периоды эмпирических обобщений, аналитических построений, синтеза накопленных знаний и достигла уровня научно обоснованного прогнозирования месторождений, обеспечивающего выбор наиболее эффективного направления поисков. В то же время процесс развития металлогении нельзя считать завершенным. Это обусловлено расширением познания закономерностей возникновения и формирования земной коры, а также некоторыми кризисными явлениями в геотектонике, неравномерной изученностью различных месторождений и продолжающейся эволюцией представлений о механизмах рудонакопления. Тем не менее уже познанные закономерности и основные положения металлогенической науки, проверяемые повседневной практикой, находят все более широкое прикладное применение и обеспечивают целенаправленное планирование и повышение эффективности геологоразведочных работ.

А. Д. Щеглов [47] определяет металлогению как самостоятельную ветвь научных знаний, которая выделилась из учения о полезных ископаемых на стыке ряда геологических дисциплин: геологии полезных ископаемых, тектоники, региональной геологии, петрологии, учения о геологических формациях, геохимии, региональной геофизики, стратиграфии, литологии и др.

Основные задачи металлогенической науки решаются совокупностью методов, которые позволяют установить комплекс факторов, определяющих позицию месторождений в различных геологических и тектонических элементах земной коры, и выявить положение процессов рудообразования в геологической истории. Прикладной результат металлогенических исследований — прогноз перспективных площадей разного ранга на базе познанных закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

Один из основоположников советской металлогенической школы Ю. А. Билибин так определял основные принципы металлогенического анализа: «Процессы минерализации, ведущие к возникновению минеральных и, в частности, рудных месторождений, представляют одну из сторон единого и сложного процесса геологического развития земной коры. В своем историческом развитии они теснейшим образом взаимосвязаны с другими сторонами того же процесса, т. е. осадконакоплением, тектоническими движениями (развитием структур), магматической деятельностью и метаморфизмом. Процессы минерализации могут и должны изучаться лишь в своем историческом развитии и в теснейшей взаимосвязи со всеми другими сторонами процесса геологического развития земной коры».

В зависимости от объектов и целей исследований металлогения подразделяется на общую, региональную, историческую и специальную.

Общая металлогения обеспечивает теоретические основы металлогенических исследований на основе анализа общих закономерностей возникновения и размещения месторождений в пространстве и времени. Задача общей металлогении состоит в установлении рудообразующих процессов и определении их места среди процессов геологического развития Земли.

Региональная металлогения исследует закономерности пространственного размещения рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых в пределах крупных геологически самостоятельных территорий. Частью региональной металлогении является металлогения рудных районов, изучающая закономерности проявления и размещения рудной минерализации на ограниченных площадях, отличающихся по геологическому развитию и строению от прилегающего геологического пространства.

В рамках общеметаллогенических и регионально-металлогенических исследований решаются и вопросы исторической металлогении — анализ различий в эволюции рудообразующих процессов и концентрирования рудного вещества в истории Земли, определение специфики различных металлогенических эпох и выяснение причин и факторов такого рода эволюции.

Специальная металлогения изучает закономерности появления во времени и размещения в пространстве месторождений какого-либо одного металла (железо, золото) либо группы металлов, находящихся в геологически устойчивых сообществах (свинец+цинк, медь+никель, медь+молибден).

Основным методом региональных и специальных металлогенических исследований служит составление металлогенических карт, выполняемых на специализированных геологических основах и позволяющих определить соотношения продуктов рудогенеза с продуктами других геологических процессов, т. е. установить закономерности появления и размещения месторождений полезных ископаемых в пределах тех или иных геоструктур. Эти карты и теоретические основы металлогении, созданные в рамках общей металлогении, обеспечивают составление прогнозных карт, которые как конечный продукт металлогенических исследований подчинены научному обоснованию выбора наиболее эффективных направлений поисковых работ.

Рудообразующие процессы

Возникновение месторождений — обособление значительных масс высококонцентрированного рудного вещества — обусловлено такими геологическими процессами, при которых происходит однонаправленная миграция рудообразующих компонентов со снижением их концентраций в одних и накоплением в других, как

правило, локальных участках земной коры. Такие процессы, выделяемые в качестве рудообразующих (или процессы рудогенеза, металлогенеза), объединяют отделение вещества от источника, перенос его транспортирующими агентами и отложение в местах рудолокализации. Любой подобный процесс отвечает системе трех взаимосвязанных главных элементов: источник — транспортирующий агент — месторождение (рудное тело или группа рудных тел). Реализация таких процессов возможна при их энергетическом обеспечении, наличии путей транспортировки и условий накопления рудного вещества. Главным элементам процессов рудообразования соответствуют три уровня концентраций рудообразующих компонентов: исходные (в источниках), промежуточные (в транспортирующих агентах) и конечные (в рудах месторождений). Потери части вещества на путях миграции определяют возникновение его рассеянных концентраций, обычно устанавливаемых в околорудном пространстве.

Источники рудного вещества — исходное звено рудообразующих процессов.

В. И. Смирновым источники рудного вещества разделяются на три группы: ювенильную (подкоровую), связанную с базальтовой магмой; ассимиляционную, связанную с гранитной магмой; внемагматическую инфильтрационную, связанную с выведением вещества химически активными растворами из различных частей земной коры, включая и самые верхние. Эволюция металлогенических обстановок в истории Земли естественно определяет изменение роли различных источников во времени и разные варианты их сочетания и количественных соотношений в геологическом пространстве.

А. И. Тугаринов, отмечая «вечную» миграцию рудного вещества в геологической истории, рассматривал в качестве его источника для месторождений ту ближайшую «остановку» в круговороте рудообразующих компонентов, которая предшествует их накоплению и обособлению в форме рудных тел. При таком подходе в круг источников вещества могут включаться и те его скопления, различные по концентрациям и масштабам, которые возникали при металлогенических процессах, предшествовавших анализируемым. Концентрации подобного рода по возникновению могут быть связаны с ювенильными или коровыми источниками, а в дальнейшем выступать в роли внемагматических.

Изложенным определяется принципиальная возможность множественности природы источников и многоступенчатости накопления рудного вещества, в конечном итоге воплощаемого в месторождениях. В целом, источники вещества могут разделяться как по возникновению (первоисточники), так и по состоянию на периоды, предшествующие рудоотложению (промежуточные источники).

Транспортирующие агенты, обеспечивающие перенос вещества от источников к областям рудонакопления, представлены магматическими расплавами, газово-жидкими водными растворами глу-

бинного происхождения, захороненными водами древних осадков, поверхностными водами глубокой циркуляции, водами морей и океанов, атмосферными водами. Роль и значение каждого из типов агентов в рудообразовании определяются спецификой соответствующих геологических процессов, глубиной и масштабами их проявления.

Пути транспортировки вещества — пути передвижения транспортирующих агентов — отвечают зонам повышенной проницаемости в земной коре и каналам миграции вод на поверхности и в приповерхностных частях земной коры.

Области рудонакопления — участки земной коры или ее поверхности, связанные с путями транспортировки вещества, где вследствие изменения физико-химического состояния транспортирующих агентов происходит отделение рудообразующих компонентов, рост их концентраций и возникновение рудных тел.

Источники энергии при рудообразовании в разных частях земной коры имеют различную природу. При прочих равных условиях энергия затрачивается на перемещение транспортирующих агентов и, соответственно, вещества от источников к областям накопления. В качестве наиболее вероятного источника энергии при рудогенезе в земной коре В. И. Смирнов рассматривает тепловой поток Земли при локализации его на ограниченных участках в связи с тепловыми флюидопроводниками, фиксируемыми магматическими телами. При этом выделяется три модели процессов.

Эндотермальная модель отвечает глубинным источникам энергии, транспортирующих агентов и вещества. В экзотермальной модели при глубинном источнике энергии минерализованные растворы формируются за счет экзогенных вод, вовлекаемых в движение тепловым потоком (иногда с возникновением конвективных токов вод). Смешанная модель, соответствующая большинству обстановок рудогенеза, допускает глубинную природу энергетического источника и смешанное происхождение минерализованных растворов, формирующихся за счет эндогенных и экзогенных вод.

Количественные характеристики рудообразующих процессов определяются через массы вещества и его концентрации, а также через энергозатраты.

Исходные концентрации того или иного компонента в источнике (К) не могут быть исчерпаны при рудогенезе полностью, до нулевых значений, вследствие чего необходимо учитывать также остаточные, реститовые ($К_о$) и выносимые ($К_в$) концентрации. Масса вынесенного вещества (Р) соответственно определяется через массу источника ($М_и$) и $К_в : Р = К_в \cdot М_и$. При переносе к месту рудоотложения всего выносимого вещества его масса может быть выражена через содержание ($К_т$) в транспортирующем агенте массой $М_т : Р = К_т \cdot М_т$. Локализацию всего вынесенного рудного вещества в месторождении с массой $М_м$ и концентрацией $К_м$ отражает соотношение $Р = К_м \cdot М_м$.

Из приведенных соотношений следуют зависимости:

$$K_в : K_т = M_т : M_и,$$
$$K_т : K_м = M_м : M_т,$$
$$K_в : K_м = M_м : M_и,$$

которые связывают три звена идеализированной системы рудогенеза, т. е. источники, транспортирующие агенты и рудные тела. Упрощенная количественная оценка рудообразования может быть получена через определение концентраций анализируемого компонента в каждом из трех элементов процесса.

Общая группировка рудообразующих процессов. При классификации рудообразующих процессов для целей металлогенического анализа в качестве главного признака принимается их принадлежность к более широким собственно геологическим процессам. Последующее подразделение учитывает механизм транспортировки и накопления рудообразующих компонентов. В соответствии с этим выделяются плутоногенные, вулканогенные, седиментогенные и метаморфогенные рудообразующие процессы.

1. Плутоногенные рудообразующие процессы могут реализовываться по нескольким принципиально различным схемам.

1.1. Обособление рудного вещества от силикатных составляющих магматического расплава в процессе его дифференциации и кристаллизации с накоплением в самих магматических телах (собственно магматический рудогенез).

Источники вещества — ювенильные магматические расплавы. В качестве промежуточных источников и (в то же время) транспортирующих агентов выступают расплавы на разных стадиях их дифференциации, разделения и миграции. Соотношения масс источник — руда оцениваются на уровне $n \cdot 10^3/1$. Концентрации рудного вещества, выносимого из первоисточника, соответствуют кларковым. Рудогенез обеспечивается не специфическими исходными содержаниями рудообразующих компонентов, а только особыми условиями эволюции расплавов. Такая эволюция реализуется далеко не во всей полноте, что подтверждается существованием массивов с различными уровнями накопления и распределения рудообразующих компонентов между существенно силикатными и рудоносными частями.

1.2. Вынос вещества из магматических тел флюидными составляющими с обособлением в виде зон минерализации и жил в породах интрузивной рамы либо кровли массива. Ортогенетическая схема таких процессов предполагает, что источником вещества служат сами массивы или материнские магматические очаги, а носителями — магматогенные флюиды.

1.3. Вынос вещества из магматических тел и пород обрамления конвективными потоками активизированных метеорных вод в том или ином количественном сочетании с магматогенными водами. Модели подобных конвективных систем (рециклинга) с числом оборотов $n \cdot 10^3$—$n \cdot 10^5$ за период рудообразования устраняют

проблему дефицита транспортирующих агентов, вытекающего из сопоставления расчетных (по растворимости компонентов) масс флюидного носителя с его растворимостью в магматических расплавах.

2. Вулканогенные рудообразующие процессы реализуются в трех основных вариантах.

2.1. Первый вариант аналогичен схемам 1.2 и 1.3 плутоногенных процесов и характерен главным образом для обстановок широкого развития интрузивных составляющих вулканогенных формаций в условиях континентального вулканизма.

2.2. Обособление вещества в связи с процессами субмаринного вулканизма (собственно вулканогенное рудообразование) при возникновении в определенных обстановках конвективных систем, соответствующих модели рециклинга и близких схеме 1.3. В качестве источника вещества рассматриваются породы ложа морского бассейна, в роли носителя выступают активизированные морские воды, выщелачивающие рудообразующие компоненты на путях циркуляции и разгружающиеся на участках выхода на морское дно и в прилегающих к нему выводных каналах. Соотношение масс носитель — источник оценивается по конечным продуктам рудообразования на уровне $n \cdot 10/1$. Это очевидное противоречие разрешается многократным обменом вод в системе (от $n \cdot 10^3$ до $n \cdot 10^4$), вследствие чего на каждом временном отрезке процесса масса носителя меньше массы источника в $n \cdot 10^2 - n \cdot 10^3$ раз.

2.3. Выщелачивание рудообразующих веществ из продуктов извержения поверхностными водотоками и водами геотермальных систем с выносом в прилегающие бассейны и проницаемые зоны.

3. Седиментогенные рудообразующие процессы отличаются разнообразием механизмов рудонакопления.

3.1. Обособление рудообразующих компонентов от носителей различного происхождения при механических и химических процессах с накоплением в отложениях водотоков, во внутриконтинентальных и окраинноконтинентальных бассейнах.

3.2. Накопление рудообразующих компонентов, рассеянных в морской воде, при процессах ее испарения.

3.3. Экстракция рудообразующих компонентов, рассеянных в продуктах седиментогенеза, подземными водами с выносом рудного вещества и его накоплением на геохимических или физико-механических барьерах в прибрежно-морских условиях или в неконсолидированных континентальных отложениях. Отношение массы вод, прошедших через области рудоотложения, к массе руд оценивается на уровне $(n \cdot 10^4 — n \cdot 10^5)/1$ при числе обменов вод в таких областях от $n \cdot 10^3$ до $n \cdot 10^4$.

4. Метаморфогенные рудообразующие процессы могут обеспечивать возникновение новых накоплений рудного вещества по следующим основным схемам.

4.1. Преобразование продуктов седиментогенеза, вулканизма и плутонизма с приобретением новых качеств, отвечающих рудам. Подобные процессы включают и преобразование ранее возникших

руд с фазовыми переходами и перегруппировками, иногда приводящими к возникновению качественно иных свойств.

4.2. Перегруппировка рассеянных концентраций вещества и вынос его в области с режимом, благоприятным для рудонакопления. В подобных процессах в качестве источников вещества выступают определенные геологические образования — толщи и комплексы; роль транспортирующих агентов выполняют погребенные, метаморфогенные или активизированные метеорные воды; энергия для рудообразования обеспечивается метаморфическими или магматическими процессами. В целом, рудообразование по приведенной схеме может реализоваться в нескольких вариантах, в сумме отвечающих метаморфогенно-гидротермальному рудогенезу.

4.3. Переплавление вещества с возникновением парамагматитов и реализацией рудообразования по плутоногенной схеме (1.2, 1.3).

Роль каждой из выделенных групп процессов определяется спецификой строения и развития тех или иных частей земной коры — геотектоническим режимом. Интенсивность различных рудообразующих процессов, выраженную через коэффициенты накопления основных компонентов, иллюстрирует табл. 7.

Таблица 7

Уровни накопления (коэффициенты концентрирования) основных рудообразующих элементов в рудах месторождений. По Л. Н. Овчинникову

Элемент	Среднее содержание в земной коре, %	Бортовое содержание в рудах, %	Уровень накопления	Преобладающие типы рудообразующих процессов
Fe	4,65	22,0	5	П, В, С, М
Mn	0,10	5,0	50	В, С, М
Cr	$8{,}3\cdot10^{-3}$	7,0	843	П
Ni	$5{,}8\cdot10^{-3}$	0,10	17	П
Co	$1{,}8\cdot10^{-3}$	0,02	11	П
W	$1{,}3\cdot10^{-4}$	0,06	444	П
Mo	$1{,}1\cdot10^{-4}$	0,005	46	П
Al	8,05	17,0	2	П, С, М
Cu	$4{,}7\cdot10^{-3}$	0,2	43	П, В, С
Pb	$1{,}6\cdot10^{-3}$	0,3	188	В, С
Zn	$8{,}3\cdot10^{-3}$	0,7	84	В, С
Sn	$2{,}5\cdot10^{-4}$	0,1	400	П
Hg	$8{,}3\cdot10^{-6}$	0,05	6000	П, В
Au	$4{,}3\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-4}$	285	П, В, М
U	$2{,}5\cdot10^{-4}$	0,02	80	П, В, С
Pt	$5\cdot10^{-7}$	$2\cdot10^{-4}$	400	П
Ag	$7\cdot10^{-6}$	$1{,}6\cdot10^{-3}$	448	П, В
V	$9\cdot10^{-3}$	0,7	77	П, С
Bi	$9\cdot10^{-7}$	$1\cdot10^{-3}$	1100	П

Примечание. Рудообразующие процессы: П — плутоногенные, В — вулканогенные, С — седиментогенные, М — метаморфогенные.

Цель рудноформационного анализа как направления специальной металлогении — прогнозирование продуктов рудогенеза. Достижение этой цели может быть обеспечено на основе установления постоянно наблюдаемых ассоциаций продуктов рудообразования с определенными геологическими формациями и последующего решения обратной задачи — выделения перспективных площадей через установление соответствующих геологических формаций, признаков их рудоносности, проявлений рудогенеза и их формационной идентификации. Этим определяются требования к содержанию понятия «рудная формация».

Главной задаче прогноза — выделению перспективных площадей разного ранга на основе комплекса геологических признаков — отвечают те определения рудных формаций, которые рассматривают скопления рудного вещества как естественные составляющие тех или иных геологических сообществ, обычно понимаемых как геологические формации.

В практике современных металлогенических исследований, базирующихся на формационных основах, понятие «рудная формация» обычно используется в соответствии с определением, данным Р. М. Константиновым. Под рудными формациями этот исследователь понимал группы месторождений с минеральными ассоциациями сходного состава, повторяющимися в определенной последовательности на всех месторождениях данной формации и образовавшимися в близких геологических условиях независимо от времени образования.

Существо этого определения сохраняется в формулировках, предложенных В. А. Кузнецовым, П. А. Строной, А. Д. Щегловым, Г. Н. Щербой, Д. В. Рундквистом и другими геологами. Эти исследователи в определениях рудной формации конкретизировали «геологические условия» Р. М. Константинова через геологические формации и геотектонические (тектоно-магматические) условия их проявления.

С учетом упомянутых разработок **под рудной формацией следует понимать группу месторождений и рудопроявлений, однотипных по элементному и минеральному составу руд и геологической обстановке нахождения, которая характеризуется определенной геологической формацией (либо сочетанием геологических формаций) и структурными условиями рудогенеза.**

Рудная формация принимается в качестве основной классификационной единицы. С учетом особенностей вещественного состава и геохимических характеристик руд, выраженных количественно, рудная формация может разделяться на субформации и (или) минеральные типы. В качестве ассоциаций рудных формаций выделяются существенно различные по составу (набору главных элементов и минералов) продукты рудогенеза, постоянно наблюдаемые в однотипных геологических формациях. В свою очередь в качестве семейства рудных формаций рассматриваются

сходные по составу продукты рудогенеза, ассоциирующие с формационно различными геологическими образованиями.

В приведенную формулировку включены зависимости в системе «руда — среда — структура», подразумевающие отражение главных закономерностей реализации процессов рудогенеза как части становления определенных геологических формаций (либо их сочетаний) в соответствующих структурных условиях.

При выделении геологических формаций обычно исходят из известного определения Ю. А. Кузнецова, согласно которому под геологической формацией (безразлично осадочной или магматической) следует понимать естественные сообщества пород, возникающие в определенной геологической обстановке и отвечающие отдельным этапам развития того или иного участка земной коры. Отсюда со всей очевидностью следует, что каждая геологическая формация фиксирует достаточно определенный режим развития, а ассоциирующая с ней рудная формация отвечает этому режиму. В тех же случаях, когда рудные формации являются следствием совмещения геологических формаций, то рудные формации сопоставляются с режимом становления последней из сочетающихся геологических формаций.

При классификации геологических формаций учитываются химические составы входящих в них пород и модальные содержания основных породообразующих минералов, а также соотношения главных породообразующих элементов (щелочей, кремния, кальция, магния, алюминия).

Роль геологических формаций в рудогенезе, оцениваемая по соотношениям с ними рудных формаций, определяется, как правило, по наблюдаемым и предполагаемым их взаимосвязям с учетом господствующих генетических концепций. Так, Д. В. Рундквистом с соавторами геологические формации разделены на рудовмещающие, являющиеся благоприятной средой для рудоотложения; рудоносные продуктивные, непосредственно содержащие в своем составе промышленно ценную минерализацию; рудоносные материнские, рассматриваемые как источник оруденения.

Г. Н. Щерба и Т. М. Лаумулин, напротив, выделяют в качестве рудоносных те геологические формации, с которыми (либо с частью которых) непосредственно или во взаимодействии с другими геологическими формациями (наложенными процессами) связаны определенные рудные формации. При этом продуктивны разновидности или части геологических формаций, с которыми непосредственно связаны рудные.

Для полной характеристики любого процесса рудонакопления, как показано В. И. Смирновым, необходимо учитывать источники вещества, источники энергии, транспортирующие агенты и среду рудоотложения. Существенное значение при этом имеет установление не только природы источника рудного вещества (первоисточника), но и определение промежуточных источников, так или иначе сопоставляемых с соответствующими формациями.

Соответственно, определение роли геологических формаций в рудогенезе требует сопоставления таких формаций с главными элементами процессов рудообразования: средой рудоотложения, источниками транспортирующих агентов, вещества и энергии. На этой основе геологические формации разделяются на рудовмещающие, рудоносные, рудогенерирующие и рудообразующие.

Рудовмещающие геологические формации (РВФ)). Нахождение продуктов рудогенеза в той или иной геологической среде, устанавливаемое прямыми наблюдениями, может быть следствием наложения на нее более поздних принципиально иных процессов либо результатом процессов становления этой среды (геологической формации). Для разграничения этих принципиально различных вариантов целесообразно понятие «рудовмещающая формация» сохранить лишь для первого случая, когда в формационно однотипных геологических образованиях располагаются формационно различные продукты рудогенеза. Иными словами, РВФ выступают в качестве среды рудоотложения, связанного с другими геологическими явлениями, которые предполагаются при интерпретации данных прямых наблюдений.

Рудоносные геологические формации (РНФ) — частный случай РВФ и выделяются как формационно однородные геологические образования, вмещающие формационно однотипные продукты рудогенеза при неоднозначности интерпретации природы таких ассоциаций.

Рудогенерирующие формации (РГФ) — те геологические образования, которым приписывается роль источников вещества, энергии рудообразования и транспортирующих агентов для продуктов рудогенеза, локализованных в среде рудоотложения (РВФ).

Рудообразующие формации (РОФ) — те геологические образования, которым отводится роль источников энергии при рудообразовании, реализуемом за счет вещества, содержащегося в иных геологических формациях (РНФ).

Общепринятые и наиболее распространенные модели рудогенеза соответствуют следующим сочетаниям геологических формаций по наблюдаемой (подчеркнуто) и предполагаемой роли в процессах возникновения месторождений (табл. 8).

I. **РВФ**+РГФ. Это сочетание отвечает классической ортогенетической схеме формирования жильных гидротермальных месторождений, локализованных в геологических образованиях различной формационной принадлежности при постоянстве руднoформационных характеристик и устойчивой пространственно-временной связи с однотипными магматическими комплексами РГФ. Такие объекты отвечают эндотермальной модели рудогенеза В. И. Смирнова [42].

II. **РВФ**=РНФ. Одна и та же формация выступает в двойной роли при неоднозначности интерпретации причин рудогенерации, что характерно для ряда типов месторождений, в первую очередь стратиформных либо близких к ним. Рудонакопление в таких геологических формациях может быть связано с процессами, которые

Таблица 8

Типы металлогенических формаций

Роль в рудогенезе	Рудовмещающие (РВФ)	Рудоносные (РНФ)	Рудогенерирующие (РГФ)	Рудообразующие (РОФ)	Типы месторождений
I. РВФ + РГФ	С		Т + В + Э		Жильные и скарновые
II. РВФ = РНФ	С + Т + В				Медистые песчаники и сланцы; свинцово-цинковые в карбонатных толщах; колчеданные
III. РВФ = РНФ = РГФ	С + Т + В + Э				Никелевые и медно-никелевые; хромитовые, титано-магнетитовые магматические; пегматитовые
IV. (РВФ = РНФ) + РОФ	С + Т + В			Т + Э	Скарнированные и регенерированные стратиформные; метаморфогенно-гидротермальные; метаморфизованные металлоносных черносланцевых толщ
V. (РВФ = РНФ) + (РОФ = РГФ)	С + Т + В		Т + В + Э		
VI. РВФ + (РВФ = РНФ = РГФ)	С	С + Т + В + Э			Грейзеновые; молибден- и молибден-меднопорфировые

Примечание. С — среда рудонакопления, Т — источник транспортирующих агентов, В — источник рудного вещества, Э — источник энергии при рудообразовании.

не получают формационного выражения и могут описываться экзотермальными, смешанными и экзогенными моделями.

III. **РВФ=РНФ=РГФ.** Это сочетание характерно для процессов рудогенеза, достаточно убедительно относимых к самой формации. Наиболее наглядный пример — медно-никелевые месторождения, возникающие при расслоении сульфидно-силикатных расплавов с накоплением руд в породах РВФ=РНФ либо в ее ближайшей раме. Такому же сочетанию отвечают пегматитовые апогранитовые и часть грейзеновых месторождений, локализованных в формационно однотипных интрузивных породах, связанных с их становлением и соответствующих экзотермальной модели.

IV. **(РВФ=РНФ)**+РОФ. Сочетание двух формаций, отражающее экзотермальную модель рудогенеза, в которой рудонакопление связывается с перераспределением вещества, находящегося в однотипных РВФ=РНФ под тепловым и флюидным (?) воздействием более поздних магматических тел (РОФ) различной формационной принадлежности.

V. **(РВФ=РНФ)+(РОФ=РГФ).** Сочетание, отличающееся от типа IV предполагаемым поступлением вещества их обеих формаций и приложимое как к модели метаморфогенно-гидротермального рудогенеза, так и к некоторым полигенным объектам, в частности, к скарнированным с привносом вещества полиметаллическим и железорудным месторождениям.

VI. **РВФ+(РВФ=РНФ=РГФ).** Данное сочетание близко сочетанию типа РВФ+РГФ, но отличается тем, что одна из двух формаций выступает в тройной роли.

Подобное сочетание характерно для смешанных моделей рудогенеза для штокверковых месторождений меднопорфировых и молибден-меднопорфировых руд (ортогенетические либо рециклинговые схемы, либо их сочетание). Рудная минерализация локализуется в формационно однотипных магматических телах (РВФ=РНФ=РГФ) и в геологических образованиях обрамления любого состава (РВФ); которые либо пассивно вмещают оруденение, либо (предположительно) поставляют какую-то часть его.

Рассмотренные сочетания геологических формаций по установленной и предполагаемой роли в рудогенезе отражают существующие модели рудонакопления и определяют типы металлогенических формаций, которым отвечают устойчивые, постоянно наблюдаемые пространственно-временные ассоциации геологических, метасоматических и рудных формаций; базисные положения определяют принципы формационной классификации рудных месторождений и содержание рудноформационного анализа для прогнозно-металлогенических построений. В общем виде последовательность систематизации исходной информации сводится к следующему:

установление ведущих характеристик скоплений рудного вещества (минеральный и элементный состав с оценкой количественных соотношений основных рудообразующих элементов);

выявление главных показателей рудовмещающих формаций (фациальный состав с количественным соотношением фаций,

Таблица 9

Формационная классификация месторождений и рудопроявлений цветных металлов

Геотектоническая позиция и время становления	Типы металлогенических формаций (МФ)	Составляющие металлоге	
		Геологические формации (ГФ) и субформации (ГСФ)	
		Семейство сульфидных никелево-	
Зоны протоактивизации и активизации платформенных структур	**РВФ=РНФ=**РГФ*	Габбро-троктолит-долеритовая (MgO—8—15 и 2—30 %)	
Зоны магматической протоактивизации	**РВФ=РНФ=**РГФ*	ГСФ. Габбро-троктолитовая (MgO—8—10 и 2—20 %)	
Зоны активизации платформ; поздние стадии	**РВФ=РНФ=**РГФ*	ГСФ. Габбро-долеритовая (MgO—10—15 и 2—30 %)	
Зоны протоактивизации и протогеосинклинали	**РВФ=РНФ=**РГФ	Габбро-норит-пироксенит-перидотитовая (MgO—15—25 и 2—40 %)	
Зоны магматической протоактивизации	**РВФ=РНФ—**РГФ	ГСФ. Габбро-норит-пироксенит-перидотитовая (MgO—15—20 и 2—40 %)	
Протогеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ=**РГФ	ГСФ. Габбро-пироксенит-перидотитовая (MgO—20—25 и 2—35 %)	
Архейские зеленокаменные пояса	**РВФ=РНФ—**РГФ	Пироксенит-перидотит-дунитовая (MgO—25—33 и 20—55 %)	
	РВФ=РНФ—РГФ	ГСФ. Пироксенит-перидотитовая (MgO—25—28 и 20—45 %)	
	РВФ=РНФ—РГФ	ГСФ. Перидотит-дунитовая (MgO—28—33 и 25—55 %)	
		Семейство колче	
Первичные эвгеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ**	Контрастная липарит-базальтовая	
Первичные эвгеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ**	Натриевая серия эвгеосинклинального базальтоидного магматизма	Непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая
Первичные эвгеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ**		Однородная (недифференцированная) базальтовая
Вторичные эвгеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ**	Калиево-натриевая серия эвгеосинклинального магматизма	Контрастная базальт-риолитовая
Вторичные эвгеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ**	Непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая	

нических формаций Рудные формации (РФ), субформации (РСФ)	Количественные соотношения средних содержаний главных рудообразующих компонентов в продуктах рудогенеза	Примеры месторождений
медных, медно-никелевых РФ		
РФ. Никелево-медная	Ni : Cu (1 : 10—1 : 1)	
РСФ. Никелево-медная (медистая)	Ni : Cu (1 : 10—1, 2, 5)	Дулут
РСФ. Собственно никелево-медная	Ni : Cu (1 : 2,5—1 : 1)	Норильск
РФ. Медно-никелевая	Ni : Cu (1 : 1—5 : 1)	
РСФ. Собственно медно-никелевая	Ni : Cu (1 : 1—2 : 1)	Бушвельд, Мончегорск
РСФ. Медно-никелевая (высоконикелистая)	Ni : Cu (2 : 1—5 : 1)	Печенга
РФ. Никелевая	Ni : Cu (5 : 1—75 : 1)	
РСФ. Медисто-никелевая	Ni : Cu (5 : 1—25 : 1)	Камбалда
РСФ. Никелевая	Ni : Cu (25 : 1—75 : 1)	Агнью
данных РФ		
РФ. Медноколчеданная (уральский тип)	Zn : Cu (1 : 1—1 : 10)	Блява
РФ. Медно-цинково-колчеданная (уральский тип)	Zn : Cu (1 : 1—2,5 : 1)	Гай, Узельга
РФ. Серноколчеданная маломедистая (кипрский тип)	Zn : Cu (1 : 1)	Эргани-Маден
РФ. Медно-свинцово-цинковоколчеданная (колчеданно-полиметаллическая рудноалтайская)	Pb : Zn : Cu (1 : 3 : 1)	
РФ. Свинцово-цинково-медноколчеданная (колчеданно-полиметаллическая малокавказская)	Pb : Zn : Cu (1 : 5 : 10)	

Геотектоническая позиция и время становления	Типы металлогенических формаций (МФ)	Составляющие металлоге Геологические формации (ГФ) и субформации (ГСФ)
Первичные терригенные эвгеосинклинали; ранние стадии	**РВФ=РНФ+РГФ**	РВФ=РНФ. Терригенно-флишоидная углеродсодержащая в сочетании с РГФ — редуцированной натриевой контрастной риолит-базальтовой
Вторичные локальные терригенные прогибы; ранние стадии	**РВФ=РНФ+РГФ**	РВФ=РНФ. Глинисто-кремнисто-карбонатная с редуцированной контрастной базальтовой (РГФ?)
Краевые и межгорные прогибы орогенного и платформенного развития	**РВФ=РНФ**	Пестроцветная алевритопесчаниковая и известково-алевритопесчаниковая
Перикратонные и интракратонные прогибы	**РВФ=РНФ**	Известково-доломитовая
Чехлы срединных массивов и геоантиклинали; начало орогенной стадии либо тектоно-магматической активизации	(РВФ=РНФ) + + (РОФ=РГФ)	РВФ=РНФ. Известково-доломитовая. РОФ=РГФ. Преимущественно диорит-гранодиоритовая
Подвижные пояса разного режима; тектоно-магматическая активизация	**РВФ+РГФ**	РВФ. Породы различной формационной принадлежности. РГФ. Гранитоидные (дайковые серии)
		Семейство медно-
Барьерные зоны островодужных структур первичных эвгеосинклиналей; завершение раннегеосинклинальной стадии	**(РВФ=РНФ= =РГФ)+РВФ**	РВФ=РНФ=РГФ. Габбро-диорит-кварцеводиоритовая-(плагиогранитная) натриевая. K_2O : Na_2O (0,1—0,4) РВФ. Породы интрузивной рамы различной формационной принадлежности
Орогенно-активизационные эпиэвгеосинклинальные вулкано-плутонические пояса; средние стадии	**(РВФ=РНФ= =РГФ)+РВФ**	РВФ=РНФ=РГФ. Габбро-диорит-гранодиоритовая калиево-натриевая. K_2O : Na_2O (0,5—0,8) РВФ. Породы интрузивной рамы различной формационной принадлежности

нических формаций Рудные формации (РФ), субформации (РСФ)	Количественные соотношения средних содержаний главных рудообразующих компонентов в продуктах рудогенеза	Примеры месторождений
РФ. Медьсодержащая свинцово-цинково-колчеданная (колчеданно-полиметаллическая филизчайская) РСФ. Цинково-медносерно-колчеданная	Pb : Zn : Cu (1 : 3 : 0,5)	Кизил-Дере
РФ. Медно-свинцово-цинковая (атасуйская)	Pb : Zn : Cu (1 : 3 : 0,1)	
РФ. Медистых песчаников и сланцев РСФ. Медистых песчаников РСФ. Медистых сланцев	Pb : Zn : Cu (1 : 05:10)	Джезказган Мансфельд
РФ. Свинцово-цинковая стратиформная в карбонатных толщах	Pb : Zn : Cu (3 : 1 : 10— — 3 : 10 : 0,1)	Сардана, Миргалимсай
РФ. Свинцово-цинковая скарновая	Pb : Zn (1 : 1)	Алтын-Топкан
РФ. Свинцово-цинковая жильная	Pb : Zn (1 : 1)	Садон
порфировых РФ		
РФ. Золото-медно-порфировая	Cu : Mo (200 : 1—250 : 1)	Пангуна
РФ. Молибден-медно-порфировая	Cu : Mo (200 : 1—30 : 1)	Коунрад

Геотектоническая позиция и время становления	Типы металлогенических формаций (МФ)	Составляющие металло	
		Геологические формации (ГФ) и субформации (ГСФ)	
Орогенно-активизационные эпимиогеосинклинальные вулкано-плутонические пояса	(**РВФ**=**РНФ**==**РГФ**)+**РВФ**	РВФ=РНФ=РГФ. Диорит-гранодиорит-монцонитовая натриево-калиевая K_2O : Na_2O (0,9—1,2) РВФ. Породы интрузивной рамы различной формационной принадлежности	

Примечания. В типах металлогенических формаций шрифтом выделены форма лишь для части ГФ и РФ для иллюстрации принципов классификации. Содержание MgO: ние значения в продуктах расслоения.

химический состав с учетом соотношений определенных породообразующих элементов);

анализ зависимостей между формационными характеристиками рудных скоплений и среды с выявлением возможного постоянства появлений определенных продуктов рудогенеза в однотипных геотектонических обстановках;

конкретизация роли рудовмещающих формаций с оценкой их принадлежности к рудоносным либо к относительно пассивным рудовмещающим и определение возможных рудогенерирующих и рудообразующих формаций;

обоснование принадлежности ассоциации определенных рудных и геологических формаций (либо их сочетаний) к тому или иному типу металлогенических формаций.

Подобный анализ позволяет решать главные задачи прогнозных исследований — по геологическим формациям и их сочетаниям устанавливать площади возможного развития соответствующих рудных формаций.

Классификации рудных формаций

Используемые в практике прогнозно-металлогенических исследований классификации рудных формаций обычно учитывают формационные характеристики продуктов рудогенеза (рудные формации), геологические формации, с которыми связаны эти формации, и геотектонический режим проявления соответствующих рудообразующих процессов. На этих принципах построены классификационные схемы В. А. Кузнецова, П. А. Строны и Д. В. Рундквиста с соавторами.

Разработанная в ЦНИГРИ формационная классификация месторождений цветных металлов (табл. 9) учитывает геотектоническую позицию и время появления рудных формаций в истории развития земной коры, типы металлогенических формаций по роли

Продолжение табл. 9

генических формаций	Количественные соотношения средних содержаний главных рудообразующих компонентов в продуктах рудогенеза	Примеры месторождений
Рудные формации (РФ), субформации (РСФ)		
РФ. Медно-молибден-порфировая	Cu : Mo (30 : 1—15 : 1)	Бингхэм

ции с установленной ролью геологических формаций в рудогенезе. ГСФ и РСФ выделены первое число — размах значений в условно гомогенизированных расплавах, второе — край-

геологических формаций в рудогенезе, соответствующие геологические и рудные формации, рудные субформации и соотношения в рудах основных рудообразующих компонентов.

Пространственные и временные категории металлогении

В качестве пространственных категорий металлогении выделяются рудоносные площади различных рангов и размеров.

Е. Т. Шаталовым к планетарным линейным площадям отнесены планетарные металлогенические пояса; весьма крупные линейные площади выделены в качестве металлогенических поясов, эквивалентом которых при иной форме служит металлогеническая провинция. Для крупных линейных площадей принято название металлогеническая зона (рудный пояс), а при иной форме — металлогеническая область. Рудоносные площади средних размеров при нелинейной форме обозначаются как рудные районы, которые объединяют рудные узлы, а при линейной форме — как рудные зоны. Для линейных площадей небольших размеров принято название рудные поля. В пределах последних могут выделяться минерализованные зоны.

В. И. Смирновым площади распространения полезных ископаемых разделены на следующие категории:

провинции полезных ископаемых (металлогенические провинции), отвечающие крупным участкам земной коры и охватывающие крупные геотектонические единицы на уровне геосинклинально-складчатых систем, частей платформ и дна мирового океана;

области полезных ископаемых, охватывающие части провинций и имеющие обычно характер металлогенических поясов либо бассейнов горючих и нерудных полезных ископаемых;

районы полезных ископаемых, эквивалентные узлам площадью в сотни и первые тысячи квадратных километров, входящие составными частями в области;

рудные поля, представляющие группы однотипных по происхождению, составу и структуре месторождений; обычно занимают площади от нескольких до десятков квадратных километров;

месторождения, состоящие из одного или нескольких тел полезных ископаемых. Под телами понимаются локальные скопления природного минерального сырья, приуроченные к определенным структурно-геологическим элементам или к их комбинациям.

Классификации пространственных категорий металлогении, разработанные А. А. Абдуллиным (1979 г.), В. А. Кузнецовым (1972 г.), Д. В. Рундквистом (1981 г.), базируются на наличии устойчивых ассоциаций между рудными и геологическими формациями, а также учитывают положение тех и других в геотектонических единицах и отрезках тектоно-магматических циклов. В принятой авторами классификации пространственных категорий металлогении (табл. 10) соблюдены следующие принципиальные положения:

в качестве исходной классификационной единицы принимается металлогеническая формация, связывающая воедино определенные рудную и геологическую формации;

участок земной коры, образованный рядом из двух — четырех родственных и взаимосвязанных геологических формаций, выделяется в качестве структурно-формационной зоны, которая контрастно отличается от смежных зон;

время становления структурно-формационной зоны эквивалентно подстадии тектоно-магматического цикла;

структурно-формационная зона принята по Е. Т. Шаталову в качестве эквивалента металлогенической зоны;

другие пространственные металлогенические критерии определяются, исходя из приведенного выше содержания понятия «металлогеническая зона». Наименования категорий не зависят от геометрии соответствующих площадей, поскольку они отражают формы распространения одних и тех же исходных элементов — определенных геологических формаций.

В зависимости от масштабов металлоносных площадей и специфики их геотектонического развития, отражающегося в наборах геологических и соответствующих металлогенических формаций, выделяются следующие пространственные категории металлогении:

планетарные металлогенические пояса — глобальные металлогенические единицы, образованные группами сопряженных геотектонических единиц разного режима развития и нескольких тектоно-магматических циклов и характеризующиеся несколькими сериями (группами серий) металлогенических формаций;

металлогенические провинции — группы разновременных металлогенических областей, возникшие в течение одного или нескольких тектоно-магматических циклов и характеризующиеся серией (сериями) геологических, рудных и металлогенических формаций;

Таблица 10

Соотношения основных категорий тектоники и металлогении

Тектономагматические единицы	Тектонические и структурно-формационные единицы	Пространственные категории	Временные категории	Формации — рудные (РФ), геологические (ГФ), металлогенические (МФ)
Группы циклов	Группы сопряженных разновозрастных геотектонических единиц (геосинклиналей, срединных массивов, поясов тектономагматической активизации)	Планетарные металлогенические пояса	Группа металлогенических эпох	Группа серий РФ, ГФ, МФ
Циклы	Геосинклинали, пояса тектономагматической активизации	Металлогенические провинции	Эпохи рудогенеза	Серии РФ, ГФ, МФ
Стадии	Группы структурно-формационных зон	Металлогенические области	Этапы рудогенеза	Группы РФ, ГФ, МФ
Подстадии	Структурно-формационные зоны	Металлогенические зоны	Фазы рудогенеза	Ряды РФ, ГФ, МФ
Отрезки подстадий	Структурно-формационные подзоны, блоки	Рудные районы	Этапы минерализации (рудообразования)	РФ, ГФ, МФ

Примечание. Таблица составлена с учетом работ Е. Т. Шаталова (1965 г.). Р. М. Константинова (1965 г.). А. А. Абдуллина (1979 г.), Д. В. Рундквиста (1981 г.) с дополнениями авторов

металлогенические области — группы разновременных структурно-формационных зон, образованных в рамках одной из стадий тектоно-магматического цикла и характеризующиеся группой геологических, рудных и металлогенических формаций;

металлогенические зоны — эквиваленты структурно-формационных зон, образованных рядами родственных и пространственно сопряженных геологических формаций в течение той или иной подстадии тектоно-магматического цикла и несущих ряд рудных формаций, которые входят в ряд металлогенических формаций;

рудные районы — части (подзоны) структурно-формационных зон, образованные одной геологической формацией на определенных отрезках подстадий тектоно-магматического цикла и характеризующиеся одной металлогенической формацией, которая может включать несколько рудных субформаций либо минералого-геохимических типов месторождений;

рудные поля — структурно обособленные блоки подзоны, в пределах которых развиты месторождения одного либо нескольких минералого-геохимических типов месторождений единой рудноформационной принадлежности.

При выделении временных категорий металлогении (см. табл. 10) учтены разработки Е. Т. Шаталова и В. И. Смирнова. Временные единицы приведены в соответствии с тектоно-магматической периодизацией и масштабами проявления рудообразующих процессов, отраженными в разноранговых наборах металлогенических формаций.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ

Главные структуры земной коры — океаны, геосинклинально-складчатые (подвижные) системы и платформы — существенно различаются как по металлогеническим обстановкам, так и по преобладающим процессам рудогенеза и их продуктам. В таких структурах В. И. Смирнов в качестве главных выделяет следующие металлогенические обстановки: дна океанов; эвгеосинклинальные; многеосинклинальные; парагеосинклинальные (вторичногеосинклинальные); неактивизированных платформ; активизированных платформ.

Эти обстановки могут одновременно существовать в различных частях Земли и сменять друг друга в ее геологической истории.

Специфика дофанерозойского развития земной коры отражается в существовании металлогенических обстановок, не имеющих полных аналогов на последующих этапах. В частности, в архее выделяются протоконтинентальные обстановки (древнейшие гранито-гнейсовые ядра) и обстановки зеленокаменных поясов — прообраз позднейших эвгеосинклиналей; в протерозое — гранито-гнейсового основания, чехлов протоплатформ и зон протоактивизации.

На основе разработок Г. М. Власова, В. Н. Козеренко, В. И. Смирнова, Г. А. Твалчрелидзе с учетом палеотектонической позиции и характера сочетания (сопряженности) различных тектонических единиц металлогенические обстановки группируются следующим образом:

А. **Океанические.**

А.1. Дна океанов.

Б. **Переходные от океанических к континентальным** (окраинноконтинентальные).

Б.1. Геосинклинально-складчатые системы восточно-азиатского типа, отделенные от океанического дна желобом, включают латеральный ряд сопряженных и сближенных по времени развития элементов: эвгеосинклинали, достигающие островодужных стадий развития; срединные массивы (иногда отсутствующие); окраинноконтинентальные прогибы с миогеосинклинальным режимом развития; краевые вулкано-плутонические пояса, накладывающиеся с активизацией на основание любого состава и возраста.

Б.2. Геосинклинально-складчатые системы андийского типа, в которых за желобом в сторону континента располагается ряд элементов: эвгеосинклинали, достигающие островодужных стадий; вторичные геосинклинали; вулкано-плутонические пояса; миогеосинклинали.

В. Континентальные и внутриконтинентальные

В.1. Фундамент платформ и его выступы — щиты (испытавшие активизацию и неактивизированные), в которых выделяются гранито-гнейсовые ядра; зеленокаменные пояса; протоплатформенные чехлы; зоны протоактивизации.

В.2. Платформенный чехол — активизированный и неактивизированный.

В.3. Внутриконтинентальные геосинклинально-складчатые системы, состоящие из ряда элементов: первичные геосинклинали; вторичные геосинклинали; вулкано-плутонические пояса; тыльные прогибы с режимом развития, близким к миогеосинклинальному.

В последние годы для глобальных металлогенических построений привлекаются исходные положения тектоники плит (новой глобальной тектоники — НГТ), согласно которым основные металлогенические процессы реализуются на границах мигрирующих литосферных плит. В рамках НГТ предполагается циклическое развитие земной коры со следующими главными стадиями.

1. Предварительная стадия (рифтовый тип развития) — формирование континентальных рифтовых систем.

2. Молодая стадия (тип Красного моря) — возникновение раздвига с миграцией плит от оси рифтовых зон и появлением новой океанической коры.

3. Зрелая стадия (атлантический тип) — расширение океанической коры от зон спрединга при пассивном характере границ океанического ложа с континентами.

4. Стадия поглощения (тихоокеанский тип) — возникновение зон субдукции на границах континентов с океанической корой и поглощение последней.

5. Заключительная стадия (тип Средиземного моря) — продолжение субдукции океанической коры при затухании активности зон спрединга и сближение краев континентов вплоть до смыкания.

6. Замкнутая стадия (гималайский тип) — столкновение двух континентов с возникновением межконтинентального орогенного пояса.

В геосинклинально-складчатых системах различного типа в качестве главных геотектонических элементов, различающихся по металлогеническим характеристикам, выделяются:

эвгеосинклинали (базальтофильные геосинклинали, по В. И. Смирнову);

миогеосинклинали (близкие гранитофильным геосинклиналям, по В. И. Смирнову);

регенерированные геосинклинали с эвгеосинклинальным либо миогеосинклинальным режимом развития;

сланцевые геосинклинали (терригенные эвгеосинклинали, по Г. А. Твалчрелидзе) со слабым проявлением базальтоидного вулканизма;

орогенно-активизационные вулкано-плутонические пояса.

Различия в металлогении геосинклинально-складчатых систем определяются типом последних, что отражается в наборе образующих их элементов и характере заполнения; полнотой (неполнотой) развития, фиксируемой по интенсивности проявления соответствующих стадий тектоно-магматических циклов.

Геосинклинали разных типов и разные отрезки их развития обладают существенными различиями в формационных и металлогенических характеристиках (табл. 11).

Металлогения платформ определяется обстановками, существовавшими в периоды становления комплексов, которые образуют фундамент платформ и его выступы, и обстановками формирования платформенного чехла. Существенное влияние на металлогению платформ оказывают процессы тектоно-магматической активизации, охватывающие как фундамент, так и чехол, и сопровождающиеся специфическим рудогенезом.

Фундамент платформ и его выступы — щиты и кристаллические массивы — характеризуются обстановками, отражающими специфику развития земной коры в архее и протерозое. Эти обстановки, как уже омечалось, отвечают древнейшим гранито-гнейсовым ядрам, зеленокаменным поясам, протогеосинклиналям, чехлам протоплатформ, включая эпикратонные прогибы, и зонам протоактивизации.

В гранито-гнейсовых ядрах определяющее металлогеническое значение имеют процессы метаморфогенного рудообразования. Явления метаморфизма древнейших толщ весьма разнообразны по характеру и интенсивности и включают региональный

Таблица 11

Формации горных пород и типоморфные месторождения ранней, средней и поздней стадий геосинклинального развития. По В. И. Смирнову

Группа формаций	Формация	Типоморфные месторождения
	Ранняя стадия	
Магматическая	Субмаринная вулканогенная базальт-липаритовая	Колчеданные сульфидные и окисные железа и марганца
	Перидотитовая	Магматические хромитов, осмия и иридия
	Габбро-пироксенит-дунитовая	Магматические титаномагнетитов, платины и палладия
	Плагиогранит-сиенитовая	Скарновые железа и меди
Осадочная	Обломочная	Конгломераты, песчаники, глины
	Карбонатная	Окисные и карбонатные железа, марганца; фосфориты, известняки
	Шамозитовая	Силикатные железа и марганца
	Кремнистая	Железа и марганца
	Битуминозная	Рассеянное органическое вещество, рассеянные сульфиды железа, меди, цинка, молибдена, окислы урана, ванадия
	Средняя стадия	
	Гранодиоритовая	Скарновые, преимущественно вольфрама, гидротермальные золота, меди и молибдена, свинца и цинка
	Гранитная	Пегматитовые, альбитит-грейзеновые и гидротермальные кварцевого парагенезиса руд олова, вольфрама, тантала, лития и бериллия
Осадочная	Флишевая	Осадочные строительные материалы
	Каустобиолитовая	Горючие сланцы
	Поздняя стадия	
Магматическая	Малые интрузии разнообразного состава	Плутоногенные гидротермальные месторождения, преимущественно сульфидного парагенезиса; комплексные скарновые
	Наземная вулканогенная	Вулканогенные гидротермальные месторождения
Осадочная	Молассовая	Осадочные строительные материалы
	Пестроцветная	Осадочно-инфильтрационные железа, меди, ванадия, урана
	Соленосная	Эвапоритовые солей, гипса
	Углеводородсодержащая	Газонефтяные и угольные

метаморфизм высоких ступеней, интенсивный метасоматоз и ультраметаморфизм (до возникновения вторичных расплавов и парамагматитов).

Зеленокаменные пояса представлены древнейшими линейными прогибами с вулканогенным заполнением, располагающимися между гранито-гнейсовыми выступами. Эти пояса обладают сходством с эвгеосинклиналями фанерозоя, но отличаются основными формациями и металлогеническими характеристиками.

Протогеосинклинали — долгоживущие мобильные зоны, которые располагаются между выступами гранито-гнейсовых комплексов,— обладают чертами общности как с зеленокаменными поясами архея, так и с геосинклиналями фанерозоя, но в то же время характеризуются рядом специфических черт. Протогеосинклинали представляют собой либо перикратонные мобильные зоны, либо внутриконтинентальные рифтогенные прогибы. Протогеосинклинали могут иметь как вулканогенное, так и вулканогенно-осадочное заполнение, что определяет специфику их металлогении.

Протоплатформенные чехлы формировались в наиболее ранние длительные периоды существования относительно стабильных областей земной коры, сопровождающиеся мощными процессами седиментогенеза. В пределах протоплатформенных чехлов выделяются зоны интракратонных и перикратонных впадин с существенно повышенными мощностями отложений. Перикратонные впадины могут примыкать к миогеосинклинальным зонам протогеосинклиналей при наличии между теми и другими постепенных переходов.

Металлогения протоплатформенных чехлов характеризуется ведущей ролью седиментогенных рудообразующих процессов.

Зоны протоактивизации характерны для тех частей земной коры, где после консолидации геоструктур, включая становление протоплатформенных чехлов, в конце архея — среднем протерозое проявились принципиально иные тектоно-магматические процессы со специфической металлогенией. В. И. Казанский выделяет четыре типа зон протоактивизации: тектоно-плутонический, тектоно-вулканический, тектоно-метаморфический и тектоно-метасоматический.

Чехлы платформ. Металлогения чехлов неактивизированных платформ определяется седиментогенными процессами, вызывающими как образование новых скоплений рудного вещества, так и перераспределение его ранее возникших концентраций с накоплением в новых обстановках.

Платформенные зоны активизации. Процессы активизации платформенных структур, как правило, не обнаруживают отчетливо выраженной зависимости от режима развития геоструктур обрамления и носят автономный характер. Активизация обычно проявляется многоступенчато, в несколько временных интервалов и может охватывать любые элементы платформ.

По представлениям Ю. Г. Старицкого, в ранние периоды ак-

тивизации платформ на их периферии формируются прогибы с интенсивным трапповым вулкано-плутонизмом. Эти прогибы сходны с зонами тектоно-вулканической протоактивизации, по В. И. Казанскому.

К поздним периодам активизации, которые не зависят от ранних и могут проявляться самостоятельно, принадлежат зоны тектоно-магматической активизации с развитием щелочно-ультраосновных интрузивных комплексов, иногда с сопутствующим вулканизмом.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ ПЕРИОДИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ЭВОЛЮЦИЯ РУДОГЕНЕЗА В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ

Металлогеническая периодизация эквивалентна геолого-исторической периодизации. В качестве основных единиц выделяется три металлогенических периода (группы металлогенических эпох): архейский, протерозойский и фанерозойский.

Архейский период пока не поддается разделению на этапы и стадии. Этот период характеризуется преобладанием двух металлогенических обстановок, которые отвечают древнейшим гранито-гнейсовым ядрам и специфическим геоструктурам — древним зеленокаменным поясам, возможно представляющим прообразы эвгеосинклиналей фанерозоя.

В гранито-гнейсовых ядрах ведущая роль принадлежит метаморфогенному рудообразованию, включая продукты ультраметаморфизма. Зеленокаменные пояса характеризуются широким набором базальтоидных плутоногенных и вулканогенных формаций и ассоциирующих с ними магматогенных и вулканогенных месторождений — хромитов, титано-магнетитовых, сульфидных медно-никелевых и колчеданных руд и железистых кварцитов.

Протерозойский период разделяется на ранний, средний и поздний этапы. В рамках протерозойских геоструктур устанавливается четыре типа металлогенических обстановок, которые отвечают гранито-гнейсовому основанию, протогеосинклиналям с эвгеосинклинальным и миогеосинклинальным режимами, чехлам протоплатформ, зонам протоактивизации.

Гранито-гнейсовые комплексы и эвгеосинклинали протерозоя по ведущим рудообразующим процессам и их продуктам близки соответствующим металлогеническим обстановкам архея. Существенное значение имеют чехлы протоплатформ, которые содержат урано- и золотоносные конгломераты, черносланцевые толщи с урано-золотыми рудами сложного генезиса, метаморфизованные осадочно-диагенетические месторождения меди, свинца и цинка. Специфическим металлогеническим профилем обладают зоны протоактивизации, в пределах которых располагаются уникальные расслоенные базитовые массивы с крупными магматогенными месторождениями железа, титана, хрома, платиноидов, никеля и меди, а также метасоматические редкометальные месторождения.

Фанерозойский период отчетливо разделяется на ри-

фейский (байкальский), каледонский, герцинский, киммерийский и альпийский этапы; в каждом из них выделены ранняя, средняя, поздняя и платформенная стадии.

В. И. Смирнов для фанерозоя выделяет 18 пространственно-временных металлогенических категорий: основание платформ с метаморфогенными месторождениями; чехол молодых платформ (включая эпикратонные прогибы) с продуктами седиментогенного рудообразования; зоны активизации; пять типов обстановок геосинклинально-складчатой металлогении, отвечающих пяти этапам с тремя стадиями в каждом.

С фанерозойского периода проявляются геологическая и, соответственно, металлогеническая цикличность; металлогеническая зональность, выражающаяся в поясно-зональном размещении месторождений в геосинклинально-складчатых системах; гранитоидный магматизм с сопутствующим ему широким спектром продуктов рудогенеза.

История металлогенического развития для каждой из 18 пространственно-временных категорий устанавливается посредством анализа смены во времени геологических формаций и ассоциирующих с ними продуктов рудогенеза. Подобные задачи решаются, как правило, в приложении к тем или иным структурам в рамках региональной металлогении.

При ярко проявленной смене металлогенических обстановок в истории Земли для всех периодов и их отрезков устанавливается однотипность продуктов рудогенеза, связанных с мантийным базальтоидным магматизмом. От архея до кайнозоя плутоногенные формации такого магматизма обладают сходными металлогеническими характеристиками: гипербазиты несут хромитовое оруденение; базит-гипербазитовые интрузии — сульфидные медно-никелевые руды; базитовые — титано-магнетитовые руды. С вулканогенными формациями ассоциируют месторождения медноколчеданных и колчеданно-полиметаллических руд. Эта специфика металлогении, отражающая по В. И. Смирнову ее консервативность, имеет лишь качественное выражение, поскольку количественно, начиная с фанерозоя, преобладают процессы рудогенеза, связанные с гранитоидным магматизмом.

Важно подчеркнуть, что процессы формирования земной коры в архее и особенно в протерозое с его мощными толщами осадочных образований обеспечили возникновение коровых источников вещества, а также возможность вовлечения в процессы рудогенеза погребенных, морских и метеорных вод. Гранитоидный магматизм фанерозоя определяет появление широкого набора месторождений, принадлежащих к гидротермальным по механизму накопления вещества. Подобные месторождения концентрируют в себе руды многочисленных металлов, не накапливавшихся в столь значительных масштабах на ранних периодах развития Земли.

Смены металлогенических обстановок и, соответственно, преобладающих рудообразующих процессов в конечном итоге ведут

к изменению в концентрировании рудообразующих компонентов в месторождения и эволюции в распределении месторождений.

Для оценки эволюции рудогенеза в геологической истории используются следующие методические приемы:

анализ распределения месторождений по временным подразделениям геологической истории с установлением для каждого из них наборов ведущих элементов и определением металлогенического профиля или специализации;

оценка относительной распространенности месторождений, представляющих главные рудные формации, по металлогеническим эпохам и более дробным временным отрезкам;

сопоставление относительной распространенности главных рудообразующих процессов с интенсивностью основных типов магматизма и осадконакопления по временным интервалам;

анализ распределения того или иного металла либо группы ассоциирующих отрезков геологической истории.

Для определения продуктивности тех или иных эпох запасы рассматриваемого металла в месторождениях соответствующего возраста нормируются на длительность эпох; сравнение полученных величин по разным временным отрезкам геологической истории позволяет охарактеризовать эволюцию рудогенеза конкретными значениями продуктивности. Для полноты подобных оценок необходим учет распространенности соответствующих металлогенических обстановок либо металлогенических формаций, поскольку количество накопленного в месторождениях рудного вещества в первую очередь зависит от распространенности определенных геологических формаций.

Металлоносность данного временного интервала с учетом площадной распространенности обстановок либо формаций определяется из выражения:

$$m = \frac{\text{М}}{\text{Т} \cdot \text{К}},$$

где m — металлоносность, М — запасы рассматриваемого металла, Т — длительность соответствующего временного отрезка, К — доля площади соответствующей металлогенической обстановки либо металлогенической формации от общей площади оцениваемой геоструктуры либо пространственной металлогенической категории.

При специальном металлогеническом анализе подобные оценки могут проводиться с учетом длительности становления тех или иных металлогенических формаций на разных отрезках геологической истории. Выявление закономерностей в эволюции металлоносности формаций позволяет прогнозировать возможное обнаружение новых объектов в полях развития соответствующих формаций, характеризующихся меньшей изученностью по сравнению с более металлоносными.

Сопоставление распределения во времени полезных ископаемых на территории СССР и относительной интенсивности рудооб-

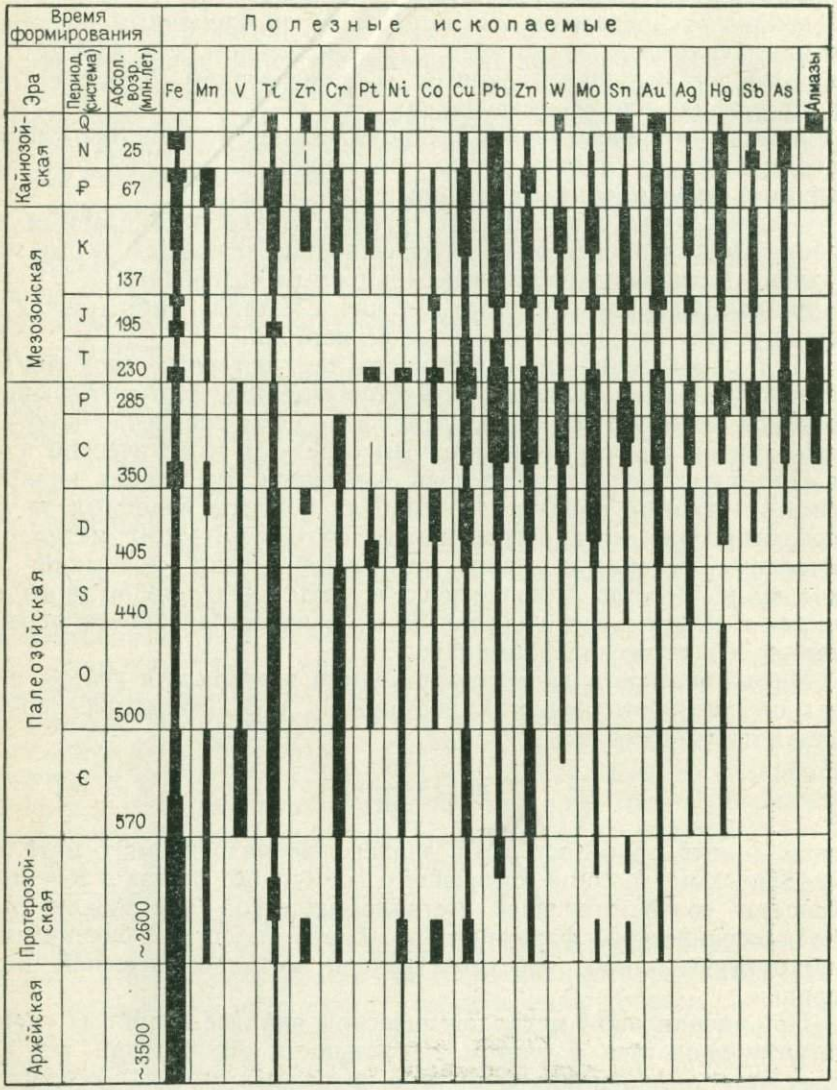


Рис. 1. Основные эпохи формирования полезных ископаемых на территории СССР. По А. Д. Щеглову.
Ширина полосы соответствует частоте проявления месторождений полезных ископаемых

разующих процессов (рис. 1) с общими закономерностями эволюции рудогенеза показывает, что на территории СССР менее распространены продукты рудогенеза древних эпох.

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ И ПРОГНОЗНЫЕ КАРТЫ

Металлогеническая карта — итоговый документ металлогенических исследований, в графической форме отражающий главные закономерности размещения металлоносных площадей разного ранга и продуктов рудогенеза. Металлогенический анализ, по результатам которого составляются подобные карты, должен обеспечивать выявление факторов и критериев прогноза новых металлоносных площадей и рудных объектов. Такие факторы и критерии используются при составлении прогнозно-металлогенических и прогнозных карт.

Металлогенические карты могут составляться на основе геологических карт, однако целенаправленность металлогенического анализа и решение его прикладных задач с существенно большей эффективностью обеспечивается использованием специализированных основ.

Выбор специализированных основ определяется главными факторами, влияющими на размещение месторождений. В зависимости от специфики продуктов рудогенеза, принадлежности их к тем или иным рудообразующим процессам могут быть использованы тектонические, структурно-формационные, фациально-формационные, литолого-фациальные, структурные, палеогеографические основы либо одна из подобных основ, дополненная элементами нагрузки иного содержания.

Для большинства продуктов рудообразующих процессов решающее значение имеет установление геологических формаций, с которыми ассоциируют месторождения; определение природы связей тех и других с последующим установлением типа металлогенических формаций. Формационные основы прогноза, опирающиеся на наблюдение и устойчивость фиксируемых ассоциаций, обладают высокой степенью объективности.

Масштаб металлогенических карт определяется задачами прогнозных исследований — рангами потенциально-металлоносных площадей, которые должны быть выделены в итоге работ. В наиболее общем случае обзорные карты масштабов 1 : 1 500 000—1 : 1 000 000 обеспечивают оконтуривание и прогноз металлогенических зон; карты средних масштабов (1 : 500 000—1 : 200 000) — выделение рудных районов; крупных масштабов (1 : 100 000—1 : 50 000) — оконтуривание и прогноз рудных полей; детальных масштабов (1 : 50 000 и крупнее) — локальных перспективных участков, сопоставимых по размерам с площадями месторождений либо групп рудных тел. Конкретный масштаб карт в значительной степени зависит от специфики месторождений, влияющей на размеры рудоносных площадей.

Собственно металлогеническая нагрузка специализированных основ включает контуры металлоносных площадей соответствую-

щих рангов и продукты рудогенеза (месторождения, рудопроявления, точки минерализации). Знаки, обозначающие продукты рудогенеза, должны отражать главные и сопутствующие рудообразующие компоненты, рудноформационную либо геолого-промышленную и генетическую принадлежности, масштабы и степень освоенности (оцененные, предварительно и детально разведанные, эксплуатируемые, отработанные).

Рудная нагрузка зависит от назначения карт. Месторождения и рудопроявления, выносимые на карты, могут быть сгруппированы по ведущему металлу либо группе металлов, по рудноформационной либо генетической принадлежности. На карты обзорные и средних масштабов при регионально-металлогенических исследованиях выносятся, как правило, месторождения всех полезных ископаемых, а при специально-металлогенических работах — месторождения определенного металла либо группы ассоциирующих металлов. Крупномасштабные и детальные карты, обычно имеющие узкое целевое назначение, фиксируют объекты единой рудноформационной принадлежности.

Для полноты картографической характеристики закономерностей размещения металлоносных площадей и месторождений требуется составление комплекта карт. Наиболее распространенный вариант комплекта карт, исполняемых в одном масштабе:

геологическая карта;

карта прогнозной и поисковой изученности, обеспечивающая предварительную разбраковку площадей путем исключения территорий, которые «погашены» ранее выполненными работами, а также учет всех видов ранее проведенных исследований;

собственно металлогеническая карта, выполняемая на специализированной основе и несущая металлогеническую и рудную нагрузку;

карта прогнозных и поисковых критериев и признаков, учитывающая металлогенические факторы, характеристики околорудного пространства, геофизические и геохимические аномалии, выявленные различными методами;

прогнозная карта, синтезирующая информацию четырех вышеназванных карт и обеспечивающая выделение площадей разной степени перспективности. В наиболее общем случае на таких картах должны оконтуриваться площади следующих категорий: бесперспективные (с исчерпанными ранее перспективами), с неясными перспективами, перспективные по комплексу данных (с разбивкой по степени перспективности). Прогнозные карты (либо накладки на них) должны отражать и рекомендации по методам и видам работ, требуемым для реализации выявленного металлогенического потенциала.

Определяющее значение для достоверности прогноза имеет выбор и обоснование прогнозных факторов и критериев. Очевидно, что максимальная объективность подобного выбора обеспечивает наиболее высокий уровень достоверности прогнозных построений и выделения перспективных площадей.

Схема на рис. 2 иллюстрирует соотношение прогнозных факторов, принадлежащих по своей природе к трем различным группам.

Первую представляют факторы, определяемые поисковой практикой — например, отражением месторождений в тех или иных аномалиях. Достоверность подобных факторов в значительной мере зависит от условий ведения прогноза и поисков. В частности, скрытые объекты могут не получать отражения в физических полях, хотя ранее, в других обстановках, они надежно фиксировались соответствующими аномалиями.

Вторую группу составляют факторы, следующие из наблюдаемых обстановок нахождения месторождений и определяемых этими обстановками закономерностей размещения месторождений. Так, например, постоянно наблюдаемая приуроченность руд определенного состава к определенным магматическим телам и их частям — объективная закономерность.

К третьей группе принадлежат факторы, определяемые концепциями рудогенеза и объясняющие природу и роль каждого из элементов рудообразующих процессов. Эти факторы практически отражают способ интерпретации тех или иных наблюдений, а в ряде случаев базируются на тех или иных допущениях, не всегда доступных для наблюдения и проверки. В соответствии с этим максимальная объективность выбора факторов рассматриваемой группы обеспечивается лишь при учете возможно большего числа установленных закономерностей размещения металлоносных площадей и месторождений.

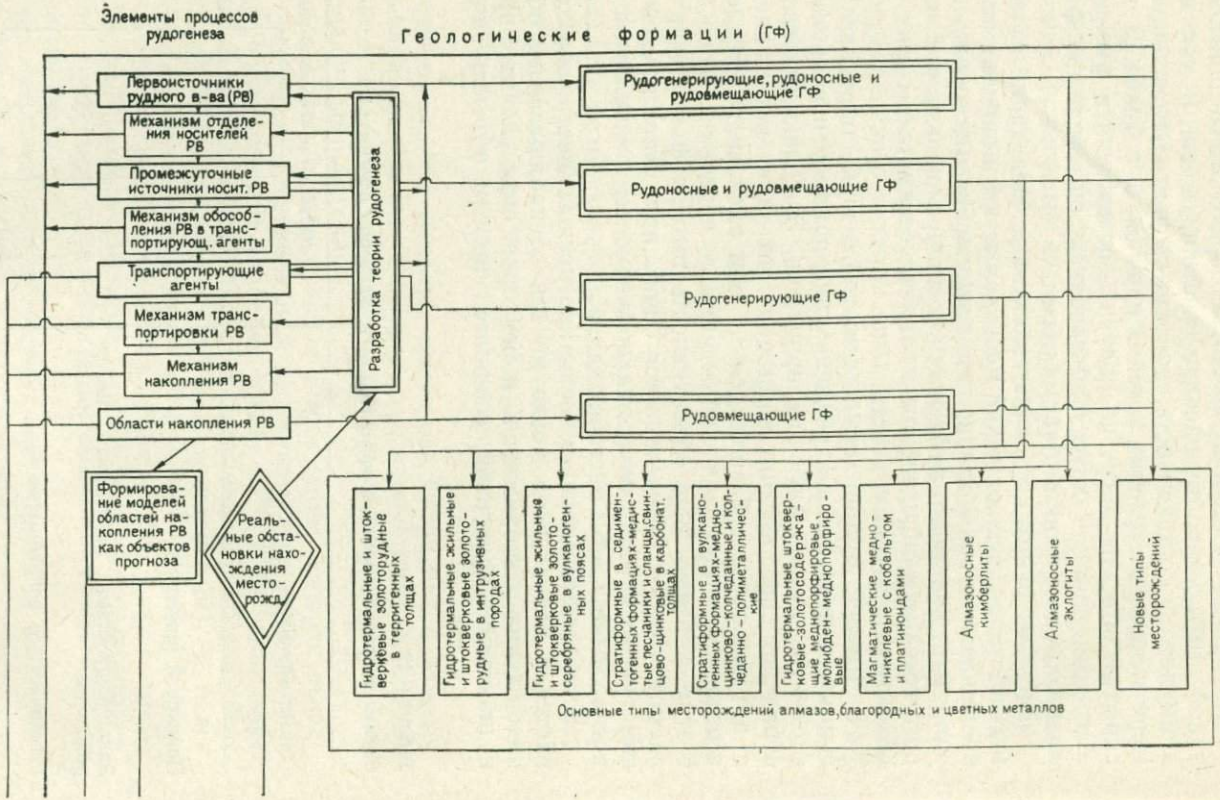
Наибольшая достоверность прогнозных построений обеспечивается в тех случаях, когда на основе наблюдаемых обстановок нахождения месторождений и факторов, определяемых прогнозной и поисковой практикой, создаются модели объектов прогноза и

Таблица 12

Оценка разработанности и эффективности факторов прогноза

Группы факторов прогноза, определяемые	Объекты прогноза по рангам		
	I	II	III
Поисковой практикой	1/3	2/2	3/1
Закономерностями размещения месторождений	2/2	3/3	2/1
Генетическими концепциями	1/1	3/1	2/3

Примечание. Числитель — уровень разработанности (1 — низкий, 2 — средний, 3 — удовлетворительный); знаменатель — эффективность (1 — низкая, 2 — средняя, 3 — высокая).


Элементы процессов рудогенеза
Геологические формации (ГФ)
Первоисточники рудного в-ва (РВ)
Механизм отделения носителей РВ
Промежуточные источники носит. РВ
Механизм обособления РВ в транспортирующ. агенты
Транспортирующие агенты
Механизм транспортировки РВ
Механизм накопления РВ
Области накопления РВ
Разработка теории рудогенеза
Рудогенерирующие, рудоносные и рудовмещающие ГФ
Рудоносные и рудовмещающие ГФ
Рудгенерирующие ГФ
Рудовмещающие ГФ
Формирование моделей областей накопления РВ как объектов прогноза
Реальные обстановки нахождения месторожд.
Гидротермальные и штокверковые золоторудные в терригенных толщах
Гидротермальные жильные и штокверковые золоторудные в интрузивных породах
Гидротермальные жильные и штокверковые золото-серебряные в вулканогенных поясах
Стратиформные в седиментогенных формациях-медистые песчаники и сланцы,свинцово-цинковые в карбонат. толщах
Стратиформные в вулканогенных формациях-медно-цинково-колчеданные и колчеданно-полиметаллические
Гидротермальные штокверковые-золотосодержащие медно-порфировые, молибден-медно-порфировые
Магматические медно-никелевые с кобальтом и платиноидами
Алмазоносные кимберлиты
Алмазоносные эклогиты
Новые типы месторождений
Основные типы месторождений алмазов,благородных и цветных металлов

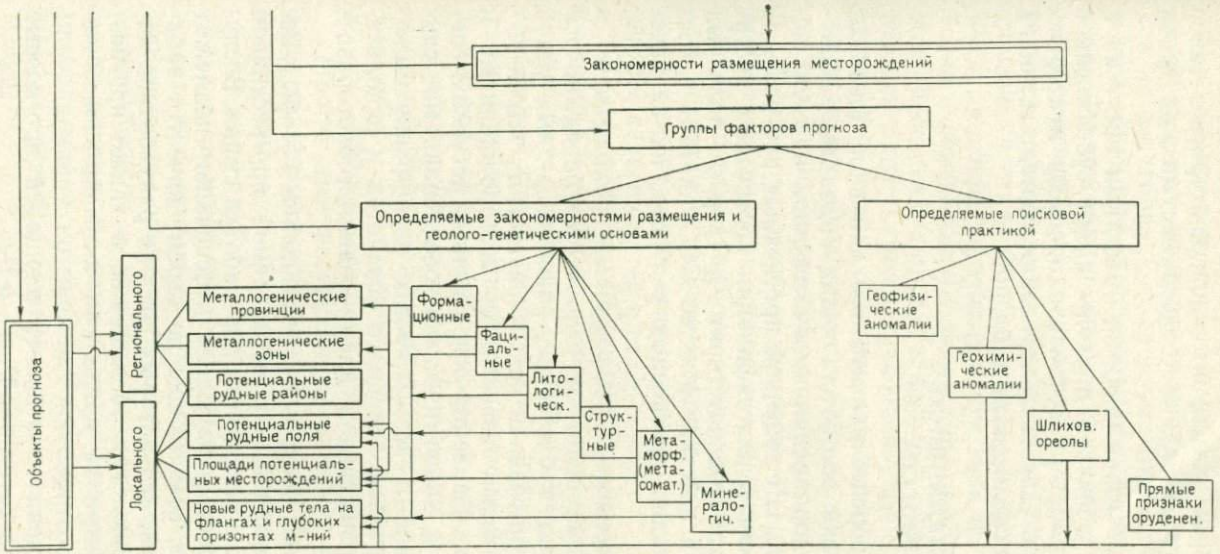


Рис. 2. Схема формирования факторов прогноза месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. По А. И. Кривцову и В. А. Нарсееву

поисков. Апробация таких моделей генетическими концепциями, проверки соответствия их друг другу с последующим обоснованием ведущих характеристик объектов прогноза и поисков и эквивалентных таким характеристикам факторов и критериев — таков наиболее объективный путь создания геолого-генетических основ прогнозных построений.

Схема связей между месторождениями, объектами прогноза и прогнозными факторами различной природы имеет существенное значение для оценки разработанности основ прогноза месторождений того или иного типа. Для систематизации соответствующей информации может быть использована табл. 12.

ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ И СТАДИЙНОСТЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА

Определение степени перспективности той или иной площади для обоснования постановки соответствующих видов геологоразведочных работ требует дополнения количественной оценкой потенциала металлоносности, т. е. оценкой прогнозных ресурсов.

«Временным положением о классификации прогнозных ресурсов, подготовке и учете запасов категории C_2 твердых полезных ископаемых», введенным в действие Мингео СССР в 1981 г., регламентируется категоризация прогнозных ресурсов, их назначение и порядок учета.

В соответствии с упомянутым «Временным положением...» прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых определяются для оценки общих перспектив бассейнов, районов, рудных узлов и полей, отдельных месторождений на основании их геологического изучения, по аналогии с известными месторождениями и теоретических предпосылок. Сведения о прогнозных ресурсах, совместно с геологическими и экономическими обоснованиями, служат основой представлений о возможностях расширения минерально-сырьевой базы отраслей народного хозяйства и используются при текущем и перспективном планировании геологоразведочных работ.

К прогнозным относятся ресурсы, использование которых целесообразно при существующей или осваиваемой прогрессивной горнодобывающей технике и технологии переработки сырья. В случае необходимости при соответствующем обосновании подлежат учету 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.

В зависимости от степени изученности площадей прогнозные ресурсы подразделяются на 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. На хо-

рошо изученных участках концентрации минеральных проявлений прогнозные ресурсы этой категории могут определяться и на стадии поисковых работ. Прогнозные ресурсы категории P_1 определяют возможность прироста запасов за счет увеличения размеров известных тел полезных ископаемых за контуры подсчета запасов по категории C_2 или возможного дополнительного выявления на месторождениях новых рудных тел. Прогнозные ресурсы категории P_1 должны учитываться не только на площадях известных месторождений, на их флангах и глубоких горизонтах, но и по их рудным полям, где по комплексу признаков установлены перспективные участки. Обоснованием ресурсов этой категории служат представления о формационном типе месторождения, его генезисе, геологическая экстраполяция имеющихся по более изученной части месторождения данных о форме и строении тел полезных ископаемых, его качестве (концентрации полезных компонентов), структурно-тектонических особенностях, литологических и стратиграфических предпосылках, определяющих площади и глубины распространения промышленной рудоносности.

Прогнозные ресурсы категории P_1, определенные при поисково-оценочных работах, совместно с запасами категории 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 категории C_2.

К категории P_2 относятся прогнозные ресурсы новых месторождений, наличие которых основывается на положительной оценке рудопроявлений, выявленных при поисковых работах и геологической съемке масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками, а также геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлена вскрытием в единичных выработках. Для оценки масштабов предполагаемых месторождений, суждений о форме и размерах тел полезного ископаемого, его качестве используется аналогия с известными месторождениями того же геолого-промышленного типа.

Прогнозные ресурсы категории P_2 — основа задания на проведение поисково-оценочных работ на перспективных объектах с подсчетом их общих возможных ресурсов по категориям P_1 и C_2.

Категория P_3 объединяет прогнозные ресурсы потенциально перспективных площадей, районов, бассейнов и рудных полей, в пределах которых на основании благоприятных предпосылок, выявленных при производстве в оцениваемом районе средне- и мелкомасштабных геологических съемок, прогнозно-металлогенических, региональных геофизических и геохимических исследований, дешифрирования космических снимков, обработки результатов геоморфологических съемок, возможно выявление новых месторождений.

Прогнозные ресурсы категории P_3 служат обоснованием для планирования крупномасштабных съемок масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками и поисковых работ с целью выяв-

ления перспективных рудопроявлений и оценки их прогнозных ресурсов по категории P_2.

Достоверность прогнозных ресурсов за исключением случаев, когда имеющиеся прямые и косвенные признаки оруденения позволяют непосредственно оценивать вероятные масштабы предполагаемых месторождений, в основном зависит от надежности геологических предпосылок, положенных в основу прогноза. Разработка этих предпосылок осуществляется для каждого геолого-промышленного типа месторождений и конкретных территорий путем анализа и сопоставления данных об особенностях геологического строения и истории развития рассматриваемой территории.

Прогнозные исследования, как уже отмечалось, служат для обоснования постановки соответствующих видов геологоразведочных работ с целью реализации определенных прогнозом перспектив — потенциала металлоносности. Детальность прогноза определяется главным образом уровнем предшествующей изученности территорий, а результаты прогнозных исследований обычно требуют постановки более детальных работ, чем ранее выполненные. Соответственно, в рамках геологоразведочного процесса прогноз занимает промежуточное (межстадийное) положение между работами различной детальности, т. е. стадиями (рис. 3).

Качественной и количественной оценке прогнозных ресурсов должны предшествовать исследования по определению наиболее благоприятных геологических предпосылок (литолого-стратиграфических, структурно-тектонических, магматических) и их сочетаний для формирования промышленных месторождений.

Характер, значение и необходимое количество предпосылок могут быть различными и находиться в зависимости от геологических особенностей и масштаба прогнозируемых объектов (месторождений, рудных полей, рудных районов), а также от степени их изученности. Оценка прогнозных ресурсов по ним тем достовернее, чем на большее количество благоприятных геологических факторов опирается.

По геологическим факторам (или по аналогии геологических, минералогических и других критериев) определяются прежде всего основные геолого-промышленные типы возможных месторождений, которые могут быть характерны для данной геологической структуры или выделенной площади.

Оценка перспективности отдельных площадей производится на основе их металлогенического анализа с учетом ряда факторов:

геотектонического положения и истории их геологического развития;

формационно-фациальных особенностей магматических комплексов, с которыми пространственно или генетически связано оруденение (для эндогенных месторождений); литолого-фациальных и палеогеографических условий формирования перспективно рудоносных толщ (для экзогенных месторождений);

размеров площадей развития перспективных рудоносных формаций;

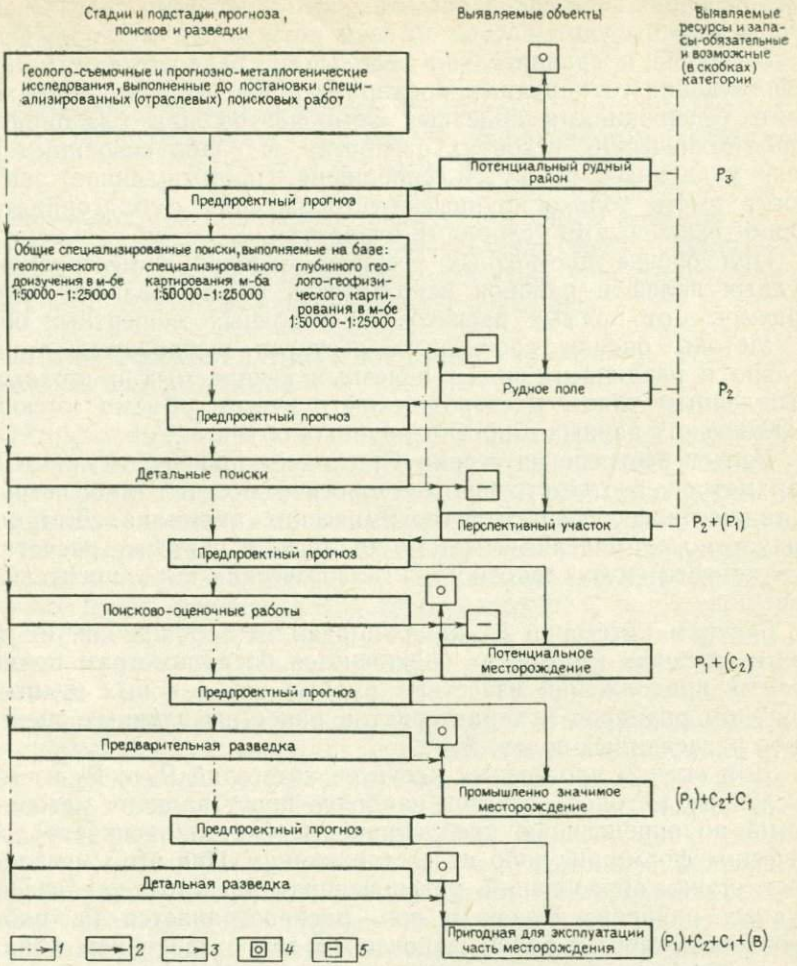


Рис. 3. Схема соотношений стадий геологоразведочных работ, их целей и результатов: *1* — общая последовательность работ по выявлению объектов прогноза и поисков; *2* — обязательное выявление объектов; *3* — возможное выявление объектов; *4—5* — негативные результаты работ, обусловленные: *4* — недостаточной обоснованностью постановки, *5* — отсутствием значительных по масштабам и качеству скоплений руд

конкретных форм и размеров возможных рудовмещающих структур;

геофизических и геохимических данных;

фактических данных, характеризующих конкретные рудопроявления и их типы, а также результатов эксплуатационно-разведочных работ на известных месторождениях.

Количественная оценка прогнозных ресурсов производится с обязательным учетом географо-экономических условий перспективных территорий. В районах с благоприятными для промышлен-

ного освоения географо-экономическими условиями прогнозные ресурсы должны учитываться по всем возможным месторождениям, в том числе и сравнительно небольшим, расположенным вблизи действующих горнорудных предприятий или отличающимся высокими содержаниями полезных компонентов при благоприятных горно-технических условиях отработки. В слабо освоенных районах, удаленных от путей сообщения, промышленное значение могут иметь только крупные месторождения с благоприятными горно-техническими условиями отработки.

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 различным видам полезных ископаемых и геолого-промышленным типам месторождений с учетом объема имеющихся фактических данных о прогнозируемых объектах.

Расчет ресурсов категории P_1 следует производить, исходя из параметров соответствующих геологических тел либо структур, а также геофизических и геохимических аномалий. Для оценки допустимо применение и метода аналогий в варианте расчета продуктивности (металлоносности) геологических тел — носителей оруденения.

Ресурсы категории P_1 на площадях месторождений, их флангах и глубоких горизонтах оцениваются по параметрам предполагаемых продолжений известных рудных тел и новых рудных тел с учетом размеров и характеристик ранее выявленных оцененных либо разведанных залежей.

Для оценки прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_3 из многочисленных методов расчетов наиболее прост вариант метода аналогий по определению продуктивности (металлоносности) геологических формаций либо их составляющих. При этом металлоносность таких образований, установленная расчетом для известных рудных районов, подзон и зон, распространяется на площади вновь выделяемых районов, подзон и зон с введением поправочного коэффициента на различия в уровне изученности.

Металлоносность известных металлогенических категорий (P_1) рассчитывается через запасы металла M_1 (включая погашенные) и площадь рудоносных образований (S_1):

$$P_1 = M_1/S_1.$$

Ресурсы новых площадей (M_2) определяются через их величины (S_2) и металлоносность известных районов, подзон и зон:

$$M_2 = K \cdot P_1 \cdot S_2.$$

Значение коэффициента K принимается равным 0,5. В то же время эта величина может быть получена расчетом, при котором часть известных в районе (зоне) запасов (M_3) и соответствующих площадей (S_3) условно рассматриваются как неустановленные, а на эти площади распространяется металлоносность (P_2) осталь-

ной части района (зоны) с оценкой предполагаемых ресурсов (M_4):

$$M_4 = P_2 \cdot S_3.$$

Сравнение реально выявленных запасов с предполагаемыми ресурсами позволяет получить значение поправочного коэффициента:

$$K = M_3/M_4.$$

Очевидно, что при использовании подобных приемов расчета значений K определение металлоносности следует производить без учета запасов особо крупных объектов, вероятность обнаружения которых в новом районе (зоне) невелика.

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Оптимальные прогнозно-поисковые комплексы базируются на современных достижениях в изучении строения месторождений и закономерностей их размещения, в области региональной и специальной металлогении и теории рудогенеза, что в сумме составляет геолого-генетические основы прогноза и поисков. Принципы формирования прогнозно-поисковых комплексов требуют увязки упомянутых основ, определяющих модели объектов прогноза и поисков, со стадийностью геологоразведочного процесса, задачами различных стадий, видами и методами работ на базе системного подхода.

Геологоразведочный процесс, имеющий своей целью обнаружение промышленных месторождений полезных ископаемых, открывается прогнозными исследованиями, которые на основе ранее выполненных мелко- и среднемасштабных геологических съемок обеспечивают обоснование постановки геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками, поисковых и поисково-оценочных работ, сменяющихся предварительной и детальной разведкой. В стадийности геологоразведочного процесса реализован принцип последовательного приближения — сужение площадей от стадии к стадии при повышении детальности работ.

Применительно к каждому отрезку процесса необходимо соблюдение принципа соответствия (по А. Б. Каждану) между стадиями работ и объектами поисков (выявления). Подобные объекты эквивалентны прогнозно-металлогеническим категориям разного ранга: металлогеническим провинциям, металлогеническим зонам, потенциальным рудным районам, потенциальным рудным полям и перспективным (поисковым) участкам. На поздних отрезках процесса объектами, подлежащими обнаружению, являются рудопроявления, рудные тела и промышленные рудные тела (месторождения). Приведенный ряд объектов при соблюдении принципа соответствия должен быть эквивалентен ряду отрезков геологоразведочного процесса: мелкомасштабному прогнозу, среднемасштабному прогнозу, крупномасштабному прогнозу, геологосъемочным работам масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими по-

исками, поисковым и поисково-оценочным работам, предварительной и детальной разведкам.

Следует подчеркнуть, что в схеме общей последовательности работ по прогнозу, поискам и разведке месторождений (см. рис. 3) учитывается реальная практика специализации работ, начиная с масштаба 1 : 50 000, не только на определенный вид полезного ископаемого, но и на конкретный геолого-промышленный тип месторождений.

Соблюдение принципов последовательного приближения и соответствия определяет не только необходимость реализации полного набора видов и методов работ, но и возможность достижения их целей по сокращенным вариантам. Эти варианты обеспечиваются решением задач более детальных стадий на ранних стадиях за счет высоких разрешающих возможностей тех или иных методов либо при ведении работ в особо благоприятных условиях.

Реализация на той или иной площади всей последовательности работ возможна лишь при наличии в ее пределах конечной цели процесса — промышленно значимого месторождения. Во всех остальных случаях работы могут быть прекращены на любой стадии при получении негативных результатов.

Для повышения эффективности геологоразведочных работ существенное значение имеет соблюдение требований к результатам каждой из стадий применительно к конкретным геолого-промышленным типам месторождений. Разработка и реализация их в практике геологоразведочных работ обеспечивают существенный рост результативности и качества поисков и разведки и объективные основы для ускоренной реализации геологоразведочного процесса.

Достижения в области специальной металлогении, изучения закономерностей размещения месторождений и их строения, составляющие геолого-генетические основы прогноза и поисков, обеспечивают условия для разработки объективных моделей объектов, подлежащих выявлению на разных стадиях геологоразведочного процесса, и признаков, описывающих эти объекты. Системы прогноз — поиски — оценка базируются на принципе соответствия моделей объектов разного ранга стадийности геологоразведочного процесса, задачам различных стадий, видам и методам работ при соблюдении при их реализации принципа последовательного приближения.

При соблюдении принципа последовательного приближения и принципа соответствия геологоразведочный процесс как сложная система разделяется на подсистемы (стадии), каждая из которых отвечает блоку взаимосвязанных элементов:

цель работ — объект, подлежащий обнаружению;

комплекс признаков, обеспечивающих опознание объекта;

комплекс методов, позволяющих выявить признаки и цели работ.

Формирование всей системы и создание рациональных прогнозно-поисковых комплексов требует определения для каждого

из таких блоков оптимальных соотношений между названными элементами. Оптимизация предусматривает оценку информативности каждого из признаков в отношении опознаваемости объектов и доступности признаков для выявления на соответствующей стадии работ; оценку возможностей методов в отношении выявления ими признаков; исключение «избыточных» признаков и методов; определение методов, способных одновременно выявлять признаки целей работ нескольких стадий.

Принципиальная схема системы представлена на рис. 4. Из этой схемы видно, что на каждом отрезке процесса определенные виды и методы работ имеют своим результатом установление признаков объекта поисков. Поскольку в современном геологоразведочном процессе, как правило, используются методы, обеспечивающие выявление признаков соответствующих объектов, в схеме принят только вариант «опознания» (+) признаков методами, а варианты «неопознания» (—) и неопределенного решения (±) исключены из рассмотрения.

В отличие от этого на той же схеме в звеньях признаки — объекты показана возможность получения трех вариантов решения. Положительный результат отвечает «опознанию» объекта признаками, что делает возможным переход к следующей стадии. Неопределенный результат может быть следствием неполноты знаний об объекте поисков и его признаках. Это требует возврата к началу данной стадии (либо к предшествующей стадии) с ревизией используемых методов и признаков с целью их корректировки для получения однозначного результата. Объективной причиной получения отрицательного результата (необнаружение объекта поисков) может быть его отсутствие на площади ведения работ, что требует прекращения исследований на соответствующей территории.

Важно отметить, что отрицательные результаты могут быть получены и за счет неверного соотнесения признаков с объектами поисков, что требует уточнения геолого-генетических основ прогноза и поисков.

Полная последовательность работ, состоящая из цепи многократно повторяемых подсистем «стадия — методы — признаки — объекты поиска», отвечает наиболее сложному и длительному по реализации варианту прогнозно-поисковых комплексов. Однако подобные варианты могут быть существенно упрощены и сокращены по времени проведения работ за счет высоких разрешающих возможностей тех или иных методов либо при ведении поисков в «благоприятных» условиях.

Для выбора и обоснования сокращенных вариантов необходима оценка разрешающих возможностей используемых методов в отношении признаков, определяющих объекты прогноза поисков. Кроме того, неравноценность каждого из признаков для полноты описания объектов требует установления опознаваемости последних теми или иными конкретными признаками. Подобный анализ может быть проведен с помощью рис. 5, дополняющего

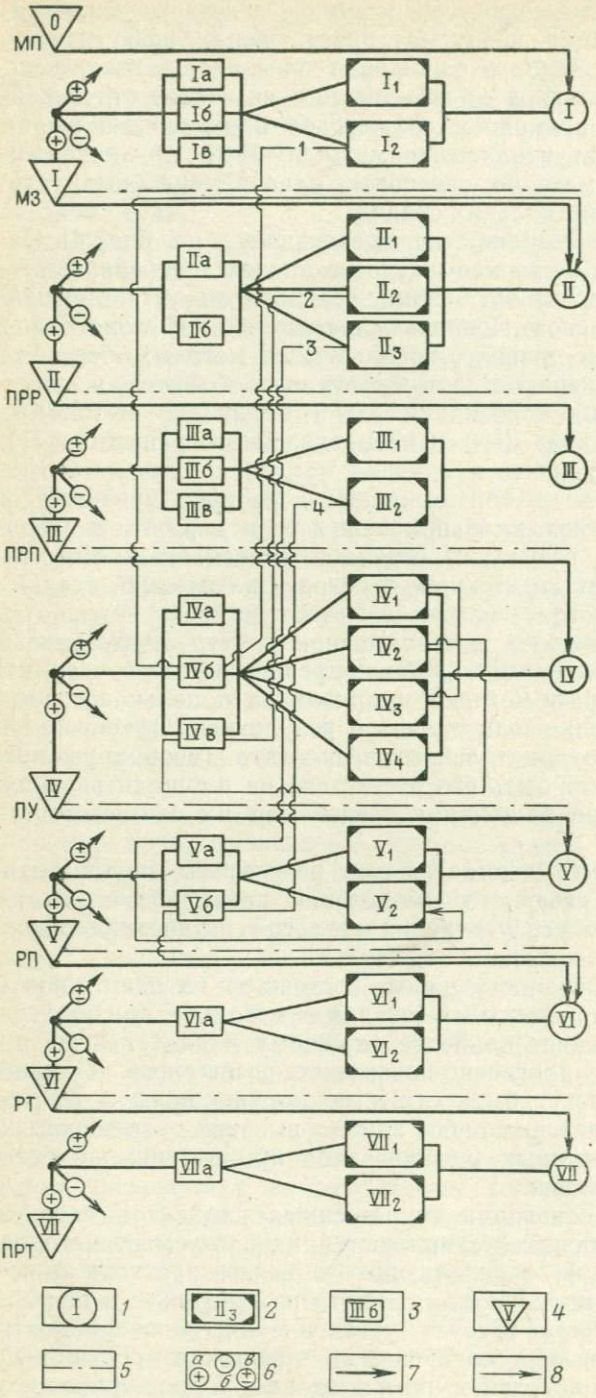


Рис. 4. Принципиальная схема прогнозно-поискового комплекса:

1 — стадии работ (I — мелко-, II — средне-, III — крупномасштабное прогнозирование; IV — геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 с общими поисками; V — поисковые работы; VI — поисково-оценочные работы; VII — предварительная разведка); *2* — методы работ (индексация по стадиям — I_1, I_2, II_1 и т. д.); *3* — признаки объектов поисков (индексация по стадиям — Iа, Iб, IIа, IIб и т. д.); *4* — объекты поисков (МП — металлогенические провинции, МЗ — металлогенические зоны; ПРР — потенциальные рудные районы, ПРП — потенциальные рудные поля, ПУ — перспективные участки, РП — рудопроявления, РТ — рудные тела, ПРТ — промышленные рудные тела и месторождения); *5* — границы стадий и подстадий; *6* — варианты решения задач (*а* — обнаружение объекта, *б* — необнаружение объекта, *в* — неопределенное решение); *7—8* — варианты ведения работ (*7* — основной; *8* — сокращенный)

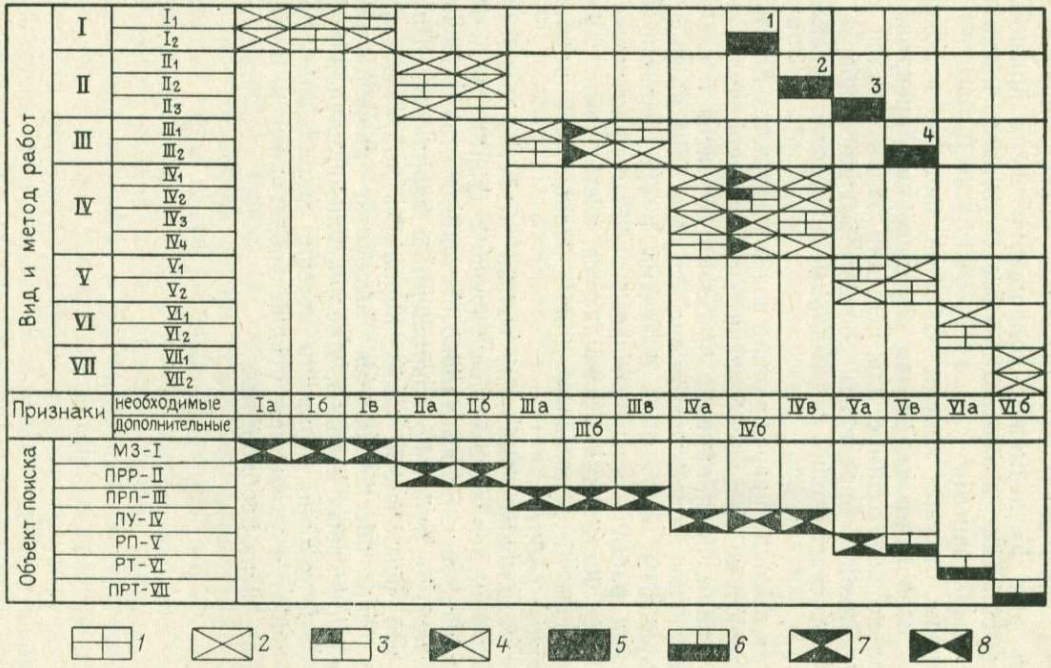


Рис. 5. Выявляемость признаков и объектов поиска.

Выявляемость признаков: *1* — в любых обстановках одним методом; *2* — в комплексе с другими методами; *3* — в специфических обстановках одним методом; *4* — в комплексе с другими методами; *5* — в благоприятных обстановках одним методом.
Выявляемость (опознаваемость) объектов: *6* — в любых обстановках одним признаком; *7* — комплексом признаков; *8* — в специфических обстановках комплексом признаков. Остальные условные обозначения смотри на рис. 4

и расшифровывающего схему на рис. 4. Из рис. 5 видно, что каждый из признаков может быть установлен либо одним методом, либо их комплексом. Сопоставление методов и признаков позволяет исключать из набора методов такие, которые не имеют самостоятельного значения для «опознания» признаков. С другой стороны, через опознаваемость объектов поиска признаками (нижняя часть рис. 5) возможно сокращение числа признаков, подлежащих выявлению, и соответствующих методов, поскольку они становятся избыточными.

Таким образом, базовые модели объектов прогноза и поисков разного ранга позволяют на основе определенных приемов выбрать минимально необходимое для решения задач каждой стадии число признаков и определить соответствующие наборы методов, в сумме составляющие оптимальные прогнозно-поисковые комплексы.

Вместе с тем высокие разрешающие возможности тех или иных методов позволяют не только обеспечить достижение цели соответствующей стадии, но и выявить признаки объектов последующих стадий, включая далеко отстоящие (случаи 1—4 на рис. 5). Подобные результаты могут быть получены и при ведении прогнозно-поисковых работ в так называемых «благоприятных» обстановках. Такие обстановки определяются элементами случайности — попаданием на локальный объект редкой сети наблюдений ранних стадий работ.

Выявление на площади работ не только объекта, обеспечивающего возможность перехода к последующей стадии, но и объекта, принадлежащего к целям далеко отстоящих стадий, создает возможность ведения работ по сокращенным вариантам. Важно подчеркнуть, что реализация таких вариантов допустима лишь тогда, когда они обеспечиваются высокими разрешающими возможностями поисковых методов, а не счастливой случайностью.

На рис. 4 и 5 условно отражены четыре сокращенных варианта ведения работ с указанием стадий (подстадий) и методов, исключаемых из числа необходимых.

ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ РУД

Геолого-промышленные типы месторождений

Под геолого-промышленным типом месторождений понимаются такие рудноформационные типы, которые по комплексу характеристик отвечают современным требованиям горнодобывающей промышленности.

Далеко не все рудные формации могут иметь промышленное значение и включать геолого-промышленные типы месторождений, при выделении которых учитывается как специфика основных черт геологического строения отдельных месторождений в целом (рудоносные и рудовмещающие формации и продукты их преобразований, рудовмещающие структуры, морфология рудных тел и др.), так и комплекс признаков, характеризующих сами рудные тела (масштабы, химический и минеральный состав руд, уровни концентраций рудообразующих компонентов, набор и характер распределения промышленных и минеральных типов руд, их экономическая значимость, технологические свойства и др.).

Классификация геолого-промышленных типов месторождений при прочих равных условиях должна базироваться на требованиях промышленности к минеральному сырью, учитывать его экономическое значение и требования, предъявляемые к результатам разведочных и эксплуатационных работ. Формационные же классификации отвечают в основном целям прогноза и поисков. Этим определяется неполная сходимость этих классификаций, хотя в наиболее общем случае геолого-промышленные и рудноформационные типы месторождений совпадают между собой. Исключения возможны, когда в однотипных геологических ситуациях находятся различные по промышленным характеристикам месторождения, относимые в формационных классификациях к субформациям, а также, когда однотипные по промышленным характеристикам месторождения обнаруживаются в существенно различных средах и принадлежат к разным рудным формациям.

Значение отдельных геолого-промышленных типов месторождений в сырьевой базе тех или иных металлов весьма разнообразно, в связи с чем среди них выделяются главные, на которые приходится свыше 5—10 % запасов (или добычи) соответствующего металла, и второстепенные — обычно менее 2—2,5 %.

Медь. В настоящее время достаточно четко выделяется девять общеизвестных геолого-промышленных типов месторождений

Таблица 13

Геолого-промышленные типы месторождений меди, свинца и цинка, никеля и кобальта

Геолого-промышленные		Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные и минеральные типы руд	Средние содержания металла в рудах, %	Попутные компоненты — основные и обычно присутствующие (в скобках)	Ориентировочные запасы металлов в отдельных месторождениях зарубежных стран, тыс. т.		Доля в общих запасах капиталистических и развивающихся стран, %
Типы	Подтипы					рядовых	наиболее крупных	
			1. Медь					
1.1. Медно-никелевый		Согласные пластообразные залежи, линзо- и жилообразные тела. Размеры: по простиранию — до 1500 м; по падению 800—1000 м; мощность — от 0,9 до 100 м	Медно-никелевый Пентландит-халькопирит (кубанит)-пирротиновый	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	1,6
1.2. Железо-медный в габброидах		Линзообразные зоны прожилково-вкрапленных руд, длина по простиранию и падению десятки—сотни метров, мощность до нескольких десятков метров	Железо-медный ванадий-титансодержащий в габброидах Борнит-халькопирит-титаномагнетитовый с апатитом	Cu 0,5—1,5 Fe до 20	Ti, V, P (Se, Te, Pd)	200—300	1000	0,5
1.3. Карбонатитовый		Трубообразные и штокверковые тела площадью до 0,5 км², глубиной более 300 м	Железо-медный карбонатитовый Халькопирит-борнит-магнетитовый с апатитом	Cu 0,5—0,9 Fe до 20	P (U, Th, Au, Ag, Se, Te, TR)	—	2500	0,6
1.4. Скарновый		Пласто- и столбообразные и сложные тела размером по длинной оси от десятков до сотен метров	Железо-медный золото-серебросодержащий Борнит-халькопирит-пирит-магнетитовый	Cu 1,5—5,0	Fe, Au, Ag (Co, Mo, Se, Te)	100—300	1000	2,0
1.5. Медно-порфировый		Штокверки изометричной, удлиненной и сложной формы площадью от 0,2 до первых квадратных километров; глубина — многие сотни метров	Молибденово-медный порфировый Молибденит-халькопирит-пиритовый	Cu 0,3—1,5 Mo 0,005—0,050	(Re, Au, Ag, Fe, Te)	600—1500	10 000 и более	65,1
1.6. Кварц-сульфидный (жильный)		Жилы и жильные зоны, длина по простиранию и падению от десятков до нескольких сотен метров, мощность 1—10 м, иногда более	Медный и свинцово-цинково-медный золото-серебросодержащий Халькопирит-пиритовый и галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый	Cu 1,5—6,0	Au, Ag (Se, Te, Pb, Zn, Bi)	50—200	1000	2,3

Геолого-промышленные		Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные и минеральные типы руд
Типы	Подтипы		
1.7. Самородной меди		Пластообразные тела; длина по простиранию и падению от десятков до сотен метров, мощность 1—10 м	Медный в лавовых покровах и конгломератах Самородно-медный (халькопирит-борнит-самородномедный)
1.8. Медно-колчеданный	1.8.1. В вулканогенных слабометаморфизованных толщах (южноуральский) 1.8.2. В метаморфизованных вулканогенных толщах (среднеуральский) 1.8.3. В терригенных толщах слабометаморфизованных (кизил-деринский) 1.8.4. В терригенных толщах метаморфизованных (карчигинский)	Пласто-, линзообразные и сложные комбинированные тела, длина по простиранию и падению от первых десятков до многих сотен метров, мощность 1—200 м	Медный, цинково-медный и медно-цинковый золото-серебросодержащий колчеданный Сфалерит-халькопирит-пиритовый
1.9. Медистых песчаников и сланцев		Пластовые, пластообразные и лентовидные залежи; длина и ширина от многих сотен метров до первых километров; мощность 0,3—30 м, иногда более	Медный серебросодержащий в песчаниках и сланцах Халькопирит-борнит-халькозиновый

Средние содержания металла в рудах, %	Попутные компоненты — основные и обычно присутствующие (в скобках)	Ориентировочные запасы металлов в отдельных месторождениях зарубежных стран, тыс. т		Доля в общих запасах капиталистических и развивающихся стран, %
		рядовых	наиболее крупных	
Cu 1,0—2,5	Ag	300—500	1500	0,6
Cu 1,0—4,0 Zn 1,0—4,0	S, Au, Ag (Cd, Se, Te, In, Tl, Ge)	300—600	1000—4000	6,5
Cu 1,0—6,0	Ag (Re, Se, Te, Pb, Zn, Co)	500—1000	10 000 и более	20,8

Геолого-промышленные		Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные и минеральные типы руд
Типы	Подтипы		
			2. Свинец
2.1. Свинцово-цинковый «скарновый» в карбонатных комплексах (приаргунский)		Сложные трубообразные тела; размеры по простиранию 200—800 м, по падению 100—600 м, мощность 0,5—70 м	Свинцово-цинковый скарновый Галенит-сфалеритовый с блеклыми рудами
2.2. Свинцово-цинковый жильный в разнообразных комплексах (садонский)		Жилы, прожилки, жильные и штокверковые зоны. Размеры: по простиранию — от 20—50 до 800 м, по падению — от 50 до 500 м, мощность — от сантиметров до 10 м	Свинцово-цинковый и цинково-свинцовый жильный Галенит-сфалеритовый и сфалерит-галенитовый (с блеклыми рудами)
2.3. Колчеданно-полиметаллический в осадочно-вулканогенных толщах (рудноалтайский)	2.3.1. Собственно рудноалтайский 2.3.2. Малокавказский	Пластообразные и линзообразные согласные залежи, лентовидные и жилоподобные секущие тела, сложные комбинированные залежи. Размеры: по простиранию — до 1500 м (иногда до 3000 м); по падению — до 900 м; мощность — от 1—5 до 100 м	Медно-свинцово-цинковый колчеданный Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, галенит-сфалерит-пиритовый
2.4. Колчеданно-полиметаллический в терригенно-карбонатных и карбонатно-кремнисто-терригенных толщах (атасуйский)	2.4.1. Горевский 2.4.2 Собственно атасуйский	Согласные пластообразные, линзо- и лентовидные залежи часто изогнутые согласно с вмещающими толщами. Размеры: по простиранию — 700—1600 м; по падению — 200—800 м; мощность от 1—5 до 100 м	Цинково-свинцовый и свинцово-цинковый колчеданный Сфалерит-галенит-пиритовый (пирротиновый), галенит-сфалеритовый, барит-галенит-сфалеритовый и сидерит-галенит-сфалеритовый

Средние содержания металла в рудах, %	Попутные компоненты — основные и обычно присутствующее (в скобках)	Ориентировочные запасы металлов в отдельных месторождениях зарубежных стран, тыс. т.		Доля в общих запасах капиталистических и развивающихся стран, %
		рядовых	наиболее крупных	
и цинк				
Pb 1,1—6,1 Zn 1,7—6,3	Cu, Ag, Bi, Cd (Se, Te, In)	100—500	До 5000	6,0 / 6,5
Pb 1,2—2,8 Zn 1,9—7,3	Cu, Ag, Cd, Bi (Se, Te, Ga, In, Ge)	200—600	1000 и более	9,5 / 11,7
Pb 0,4—7,4 Zn 1,5—11,9 Cu 0,1—2,0	Au, Ag, Cd, Ba (Se, Te, Hg, Sb, Bi, Ga, Tl, In, Ge)	100—1000	10 000 и более	8,8 / 12,8
Pb 1,5—15,0 Zn 1,0—10,0	Ag, Cd, Ba (Cu, Hg, In, Tl, Ga, Ge, Se, Te)	200—800	5000 и более	1,8 / 1,5

Геолого-промышленные		Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные и минеральные типы руд
Типы	Подтипы		
2.5. Колчеданно-полиметаллический в терригенных толщах (филизчайский)	2.5.1. В терригенных толщах слабометаморфизованных (собственно филизчайский) 2.5.2. В терригенных толщах метаморфизованных (холоднинский)	Пластообразные, линзовидные, трубообразные и столбообразные тела, комбинированные залежи. Размеры: по простиранию — до 1500 м; по падению — до 1000 м; мощность — от 1—5 до 50 м и более	Медно-свинцово-цинковый и свинцово-цинковый колчеданный Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый (с пирротином), галенит-сфалерит-пиритовый
2.6. Свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных комплексах (миргалимсайский)		Согласные пластообразные залежи, секущие линзо- и жилообразные тела. Размеры: по простиранию — до 2000 м и более; по падению — до 1000 м; мощность — от 1 до 50 м	Цинково-свинцовый и свинцово-цинковый прожилково-вкрапленный Сфалерит-галенитовый и галенит-сфалеритовый (с баритом)
			3. Никель
3.1. Медно-никелевый		Согласные пластообразные залежи, линзо- и жилообразные тела. Размеры: по простиранию — до 1500 м; по падению 800—1000 м; мощность — от 0,9 до 100 м	Медно-никелевый Пентландит-халькопирит-(кубанит)-пирротиновый
3.2. Мышьяк-никель-кобальтовый (жильный)		Пучки и колонны жил, штокверкообразные зоны, линзообразные залежи; длина несколько десятков метров; мощность до нескольких метров	Мышьяк-никель-кобальтовый серебросодержащий Саффлорит-шмальтин-раммельсбергит-никелиновый

Средние содержания металла в рудах, %	Попутные компоненты — основные и обычно присутствующие (в скобках)	Ориентировочные запасы металлов в отдельных месторождениях зарубежных стран, тыс. т.		Доля в общих запасах капиталистических и развивающихся стран, %
		рядовых	наиболее крупных	
Pb 0,5—2,2 Zn 3,5—7,5	Cu, Ag, S, Cd (Au, Co, Bi)	500—3000	15 000 и более	30,0 / 36,1
Pb 0,6—4,0 Zn 0,9—7,0	Ag, Ba, Cd (Se, Te, In, Tl, Ge)	200—1000	1000 и более	40,9 / 26,3
и кобальт				
Ni 0,5—1,5 Cu 0,2—3,5	Co, S, Pt (Pd, Os, Ir, Ru, Rh, Au, Ag, Se, Te)	100—600	До 2000	34,5 / 13,0
Co : Ni 4 : 1 до 1 : 4	As, Ag, Bi, U	20	100	0,1 / 0,5

Геолого-промышленные		Форма и размеры рудных тел	Основные промышленные и минеральные типы руд
Типы	Подтипы		
3.3. Никелевый коры выветривания		Изометричные и удлиненные пластообразные залежи, линзо,- карманно- и гнездообразные тела площадью от первых сотен квадратных метров до нескольких квадратных километров при мощности от 3 до 30 м и более	Кобальт-никелевый силикатный Серпентин-нонтронитовый, керолит-гарниеритовый, гетит-нонтронит-гарниеритовый
3.4. Никель-кобальтовый и железо-никелевый осадочный		Изометричные и удлиненные пласто- и линзообразные залежи от нескольких десятков и сотен квадратных метров до первых квадратных километров при мощности от 0,5 до 30 м и более	Никель-кобальтовый и железо-никелевый Нонтронит-лимонит-асболановый и гидрогётит-лептохлорит-магнетит-хромитовый

Примечание. При характеристике средних содержаний свинца и цинка,

меди (табл. 13), которые хорошо объединяются в шесть генетических групп, выделенных В. И. Смирновым [42].

В СССР главное значение в запасах и добыче меди имеют месторождения четырех типов: медно-никелевого, медно-порфирового, медноколчеданного и медистых песчаников и сланцев; в развитых капиталистических и развивающихся странах только двух — медно-порфирового и медистых песчаников и сланцев.

Доля месторождений медноколчеданного типа в запасах меди этих стран составляет 6,5 % (в добыче 15,6 %), медно-никелевого — 1,6 % (в добыче 3,6 %). Доля месторождений каждого из остальных геолого-промышленных типов месторождений в развитых капиталистических и развивающихся странах не превышает 1—2,5 % в запасах и 3—4 % в добыче.

Помимо месторождений основных девяти 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 глубинах 5—6 км. Диаметр конкреций 2—15 см,

Средние содержания металла в рудах, %	Попутные компоненты — основные и обычно присутствующие (в скобках)	Ориентировочные запасы металлов в отдельных месторождениях зарубежных стран, тыс. т		Доля в общих запасах капиталистических и развивающихся стран, %
		рядовых	наиболее крупных	
Ni 0,7—1,3 Co 0,04—0,2	—	20	1000	65,4 / 45,0
Ni 0,5 Co 0,06	—	—	—	—

никеля и кобальта в числителе указаны данные для свинца и никеля.

в среднем 5 см. Содержание меди в конкрециях меняется в широких пределах (от 0,01 до 2,0 %), составляя в среднем около 1,0 %. Кроме того, в них содержится 0,6—1,0 % никеля, 0,1—0,4 % кобальта, 17—36 % марганца и 4—11 % железа. Наиболее перспективными считаются поля конкреций, расположенные в центральной части Тихого океана между западным побережьем Мексики и Гавайскими островами.

Наиболее высокие концентрации меди выявлены в Красном море во впадине Атлантис II на глубине до 2500 м в морских илах мощностью до 100 м. Содержание металлов в обезвоженном иле составляет (в %): меди — 1,8, цинка — 4,6, олова — 1,4; кроме того здесь установлено серебро (60 г/т) и золото (0,6 г/т). Меденосные илы с содержанием меди 0,3—1,6 % известны также в пределах шельфовой зоны в прибрежных водах Чили на глубине 50—200 м вблизи порта Токопилья.

В последние годы в связи с открытием и изучением месторождения Олимпик-Дам в Австралии оформляется новый медно-урановый тип месторождений меди. Перспективы этого месторождения оцениваются в 2 млрд. т руды с содержанием 1,6 % меди, 0,06 %

Таблица 14

Характеристика важнейших месторождений меди, свинца и цинка, никеля и кобальта развитых капиталистических и развивающихся стран

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы		Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
				руды, млн. т	металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)		
1. МЕДЬ							
Европа							
Испания							
Рио-Тинто	1.8	PZ	0,7—2,5	250	2,0	20	П
Азия							
Афганистан							
Айнак	1.9	PR	1,7	350	6,0	120 (?)	О, П
Индия							
Ракха	1.8	PR	1,3	90	1,2	20	—
Индонезия							
Эртсберг (Кунунг-Биджи)	1.4	MZ	2,75 (Fe—40, 6, Au—0,8 г/т)	50	1,4	60	—
Иран							
Сар-Чешмех	1.5	KZ	1,20 (Mo—0,027)	850	10,2	145 (?)	О
Малайзия							
Мамут	1.5	KZ	0,58 (Au—0,67 г/т)	190	1,1	—	—
Пакистан							
Саиндак	1.5	KZ	0,39 (Au—0,5 г/т)	330	1,3	—	—
Филиппины							
Толедо (Лутопан и Бига)	1.5	KZ	0,5	900	4,5	100	О
Сипалей	1.5	KZ	0,49 (Mo—0,01)	650	3,2	35	О
Африка							
Ботсвана							
Пикве-Сейлаб	1.1	PR	1,25 (Ni—1,20)	40	0,5		
Заир							
Камото-Руве	1.9	PR	4,1	170	7,0	460	О, П
Дикулуве-Мошамбе	1.9	PR	4,1 (Co—0,3)	170	7,0		
Замбия							
Нчанга	1.9	PR	3,23 (Co—0,15)	280	9,0	260	О, П
Муфулира	1.9	PR	3,08	140	4,3	120	П
Конкола	1.9	PR	3,52	120	4,3		
Люаншия (Роан-Антелоп)	1.9	PR	2,80	130	3,6	100	П
ЮАР							
Палабора	1.3	PR	0,55	530	2,9	80	О

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы		Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
				руды, млн. т	металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)		
Америка							
Аргентина							
Эль-Пачон	1.5	KZ	0,60 (Mo—0,015)	790	4,7	90 (?)	—
Бразилия							
Карайба	1.2	KZ	1,20	120	1,5	60 (?)	
Канада							
Бетлехем	1.5	MZ	0,27—1,14 (Mo—0,017—0,047)	1200	5,7	30	О
Садбери (рудный район)	1.1	PR	1,15 (Ni—1,58)	430	4,7	150	П
Валли-Коппер	1.5	MZ	0,48	900	4,3	80	О
Кидд-Крик	1.8	PR	2,80 (Zn—5,0)	110	3,2	50	П
Колумбия							
Пантанос-Петагорсито (Серро-Пантано)	1.5	KZ	0,70	620	4,5		
Мексика							
Кананеа	1.5	KZ	0,70 (Mo—0,005)	1700	11,9	80	О
Ла-Каридад	1.5	KZ	0,70 (Mo—0,016)	760	5,3	175	О
Панама							
Серро-Колорадо	1.5	KZ	0,75 (Mo—0,004)	2270	17,0	180 (?)	О
Петакилья-Ботиха	1.5	KZ	0,80 (Mo—0,028)	500	4,0		
Перу							
Санта-Росса	1.5	KZ	0,55	1180	6,4	100 (?)	
Куахоне	1.5	KZ	1,00 (Mo—0,02)	470	4,7	140	О
Мичикильяй	1.5	KZ	0,72 (Mo—0,006)	570	4,1	130 (?)	
Келавеко	1.5	KZ	0,98 (Mo—0,02)	300	3,0	55	
Кобриза	1.4	KZ	0,80—1,86 (Ag—20 г/т)	140	2,2		
Пуэрто-Рико							
Адхунтас-Утуадо	1.5	KZ	0,70	300	2,1		
США							
Бингхем	1.5	MZ	0,60 (Mo—0,025)	1570	9,5	204	О
Сан-Мануэль и Каламазу	1.5	MZ	0,74 (Mo—0,014)	1200	8,9	163	П
Моренси	1.5	MZ	0,86 (Mo—0,02)	700	6,0	109	О, П

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы		Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
				руды, млн. т	металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)		
США							
Дип-Лоу-Грейд	1.5	MZ	0,74	800	6,0		
Уайт-Пайн	1.9	PR	1,0—1,2	220	2,5	68	П
Бьютт	1.6	MZ	1,6	120	2,0	60	П
Бисби	1.4	MZ	1,5	100	1,5	5	П
Кавишиви	1.1	PR	0,62 (Ni—0,22)	130	0,8		
Чили							
Чукикамата	1.5	KZ	1,20 (Mo—0,032)	2300	27,6	420	О
Эль-Теньенте	1.5	KZ	1,16 (Mo—0,012)	1700	19,7	276	П
Эскондида	1.5	KZ	1,92	380	7,3		
Эль-Сальвадор	1.5	KZ	1,50	370	5,6	100	П
Австралия и Океания							
Австралийский Союз							
Маунт-Айза	1.8	PR	3,1	140	3,1	170	П
Папуа — Новая Гвинея							
Пангуна	1.5	KZ	0,48 (Au—0,51 г/т)	900	4,3	140	О
Ок-Теди	1.5	KZ	0,80 (Au—0,57 г/т)	360	2,9	100 (?)	

2. СВИНЕЦ И ЦИНК

Европа							
Ирландия							
Тайнах, Могул, Наван	2.6	PZ	2,2 / 9,3	54,6 / 60,2	1,2 / 5,6	70 / 210	П
Испания							
Азналькольяр, Сотиэль-Коронодо	2.3	PZ	2,0 / 5,5	82,5 / 49,1	1,65 / 2,7	35 / 70	П
Реосин, Рубиалес	2.6	PZ	2,2 / 13,0	52,3 / 14,6	1,15 / 1,9	30 / 60	П
Минарес, Ла-Каролина	2.2	PZ	5,0 / 5,8	10,0 / 13,8	0,5 / 0,8	10 / 10	П
Италия							
Кампо-Пизано	2.6	PZ	0,9 / 7,0	22,2 / 14,3	0,2 / 1,0	20 / 50	П
Монтевеккью	2.2	PZ	3,9 / 5,0	12,8 / 14,0	0,5 / 0,7	15 / 30	П

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы: руды, млн. т	Запасы: металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)	Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
ФРГ							
Раммельсберг, Мехерних, Мегген	2.5	PR	1,1 / 7,5	163,6 / 24,0	1,8 / 1,8	35 / 140	П
Швеция							
Лайсвалль, Лангсел	2.5	KZ	3,3 / 2,7	66,7 / 92,6	2,2 / 2,5	85 / 160	П
Азия							
Бирма							
Боудвин	2.3	KZ	3,5 / 1,9	23,1 / 23,8	0,8 / 0,45	10 / 10	П
Индия							
Завар	2.5	PR	1,5 / 3,5	60,0 / 62,9	0,9 / 2,2	20 / 40	П
Иран							
Кушк	2.5	KZ	6,0 / 13,3	10,0 / 9,0	0,6 / 1,2	5 / 10	П
Ангуран	2.6	KZ	6,7 / 14,5	12,0 / 11,0	0,8 / 1,6	10 / 20	П
Япония							
Куроко, Эпури	2.3	KZ	0,9 / 8,9	56,7 / 28,2	0,5 / 2,5	20 / 90	П
Камиска	2.1	KZ	0,6 / 3,1	33,3 / 24,4	0,2 / 1,0	20 / 90	П
Хосокура	2.2	KZ	1,0 / 4,2	10,0 / 11,9	0,1 / 0,5	10 / 60	П
Африка							
Марокко							
Бу-Беккер, Туиссит	2.6		3,7 / 9,0	32,4 / 5,0	1,2 / 0,45	90 / 10	П
Намибия							
Тзумеб	2.1	PR	4,7 / 5,4	10,6 / 13,0	0,5 / 0,7	40 / 40	П
ЮАР							
Брокен-Хилл	2.5	PR	4,3 / 2,3	69,8 / 69,6	3,0 / 1,6		
Блэк-Маунтин	2.5	PR	2,5 / 0,5	84,0 / 100,0	2,1 / 0,5		

Продолжение табл. 14

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы: руды, млн. т	Запасы: металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)	Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
ЮАР							
Эггенис	2.5	PR	1,2 / 2,9	58,3 / 58,6	0,7 / 1,7		
Гамсберг	2.5	PR	0,6 / 7,4	83,3 / 93,2	0,5 / 6,9	— / 70	П
Америка							
Аргентина							
Агиллар	2.1	KZ	8,0 / 14,7	11,3 / 3,4	0,9 / 0,5	30 / 40	П
Бразилия							
Альта-Грасия, Византе	2.2	KZ	2,7 / 15,9	14,8 / 8,8	0,4 / 1,4	30 / 50	П
Канада							
Кидд-Крик, Маттагами-Лейк	2.5	PR	2,4 / 6,2	66,7 / 95,2	1,6 / 5,9	35 / 310	П
Батерст-Ньюкасл	2.3	PR	3,4 / 4,6	94,1 / 202,2	3,2 / 9,3	65 / 300	П
Сулливан, Энвил (Фэро)	2.5	PR	4,0 / 7,6	77,5 / 106,6	3,1 / 8,1	180 / 380	П
Пайн-Пойнт	2.6		3,3 / 7,0	101,1 / 145,2	3,3 / 10,2	80 / 260	П
Мексика							
Санта-Эвлалия	2.1	MZ	5,4 / 3,6	33,3 / 69,4	1,8 / 2,5	70 / 100	П
Санта-Барбара	2.2	MZ	2,4 / 11,4	92,4 / 30,6	2,2 / 3,5	100 / 160	П
Перу							
Серро-Де-Паско	2.3	KZ	4,0 / 8,6	60,0 / 58,2	2,4 / 5,0	130 / 350	П
Сантандер	2.2	KZ	3,6 / 9,3	22,1 / 24,8	0,8 / 2,3	55 / 140	П
США							
Миссисипи — Миссури	2.6	PZ	3,1 / 4,2	1375,9 / 506,5	42,5 / 21,0	430 / 150	П
Бингхем	2.1	MZ	1,3 / 5,6	230,8 / 64,3	3,0 / 3,6	40 / 50	П
Кер-д'Ален	2.2	MZ	7,5 / 8,0	60,0 / 67,5	4,5 / 5,4	70 / 100	П

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы: руды, млн. т	Запасы: металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)	Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
Австралия и Океания							
Австралийский Союз							
Брокен-Хилл	2.5	PR	10,7 / 11,3	17,8 / 17,7	1,9 / 2,0	200 / 300	П
Маунт-Айза	2.5	PR	6,8 / 6,4	54,4 / 54,7	3,7 / 3,5	180 / 150	П
Хилтон	2.5	PR	7,6 / 9,5	36,8 / 36,9	2,8 / 3,5	180 / 230	П
Макартур-Ривер	2.5	PR	4,1 / 9,5	190,2 / 189,5	7,8 / 18,0	300 / 700	П
3. НИКЕЛЬ И КОБАЛЬТ							
Европа							
Греция							
Скалистири, Пагонда, Агиоанис-Иоанис	3.3	KZ	1,40 / 0,06	330	1000 / —	17	О
Азия							
Индонезия							
Памалеа, Ларона и др.	3.3	KZ	1,28 / 0,14	100	675 / 70	12	О
Филиппины							
Мариндук, Рио-Тюба	3.3	KZ	1,08 / 0,08	133 / —	1440 / 106	30	О
Африка							
Ботсвана							
Пикве-Сейлаб	3.1	PR	1,25 / —	40	400 / —	19	О, П
Заир							
Мусонои, Камото, Мусоши	1.9	PR	— / 0,43	35	— / 450		О, П
Замбия							
Нчанга, Балуба	1.9	PR	— / 0,15	280	— / 300		О, П
ЮАР							
Горизонт Меренского	3.1	PR	0,23 / 0,01	885	2000 / 88		О, П

Месторождение	Геолого-промышленный тип (индекс в табл. 13)	Возраст	Содержание основных компонентов, %	Запасы: руды, млн. т	Запасы: металла, млн. т (Ni, Co — тыс. т)	Производительность рудника по металлу, тыс. т в год	Способ отработки
Америка							
Бразилия							
Морро-де Энхеньо	3.3	KZ	1,20 / 0,05	66	790 / 33	10	О
Гватемала							
Чулак—Эль-Эстро	3.3	KZ	1,50 / —	81	1000 / —	23	О
Венесуэла							
Лома-де-Хиерро	3.3	KZ	1,66 / 0,02	29	495 / 11		
Доминиканская Республика							
Лома-де-Ла-Пегера, Сейбо	3.3	KZ	1,58 / 0,06	63	900 / 38	30	О
Канада							
Садбери (рудный район)	3.1	PR	1,51 / 0,04	430	5600 / 170	320	П
Австралия и Океания							
Австралийский Союз							
Камбалда	3.1	PR	3,10 / 0,04	20	640 / 8	60	П
Маунт-Кейт	3.1	PR	0,60 / 0,01	300	600 / 10	20	П
Гринвейл	3.3	KZ	1,57 / 0,11	41	640 / 45	24	О
Новая Каледония Поро, Куауа, Тио	3.3	KZ	2,60 / 0,16	50	1300 / 80	85	О

Примечание. 1. При характеристике содержания и запасов свинца и цинка, никеля и кобальта в числителе указаны данные для свинца и никеля. 2. Способы отработки месторождений: О — открытый, П — подземный.

U_3O_8 и 0,6 г/т золота. Рудные пересечения установлены на площади 7×4 км при мощности до 500 м.

Свинец и цинк. Месторождения свинца и цинка относятся к четырем генетическим группам и разделяются на семь геолого-промышленных типов (см. табл. 13).

Наибольшее значение по запасам свинца и цинка в СССР имеют месторождения трех типов: колчеданно-полиметаллического в терригенных толщах (филизчайского), колчеданно-полиметаллического в терригенно-карбонатных и карбонатно-кремнисто-терригенных толщах (атасуйского), колчеданно-полиметаллического в осадочно-вулканогенных толщах (рудноалтайского).

Месторождения свинцово-цинкового «скарнового» в карбонатных комплексах (приаргунского), жильного в разнообразных комплексах (садонского) и стратиформного в карбонатных комплексах (миргалимсайского) геолого-промышленных типов имеют подчиненное значение.

В развитых капиталистических и развивающихся странах наибольшее значение имеют месторождения двух типов: свинцово-цинкового стратиформного в карбонатных комплексах (запасы свинца 40,9 %, цинка 26,3 %; добыча соответственно 31 % и 18 %); колчеданно-полиметаллического в терригенных толщах (соответственно 30,0 и 36,1 %; 33 и 36 %). Колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенно-карбонатных и карбонатно-кремнисто-терригенных толщах, а также в осадочно-вулканогенных толщах в запасах и добыче свинца и цинка зарубежных стран существенного значения не имеют.

Никель и кобальт. Месторождения никеля и кобальта относятся к пяти геолого-промышленным типам (см. табл. 13). Главными из них являются два: сульфидный медно-никелевый (магматогенный) и силикатный никелевый (коры выветривания). Мышьяк-никель-кобальтовый (гидротермальный жильный) и осадочный (континентально-пресноводный) никель-кобальтовый и железо-никелевый типы в сырьевой базе никеля и кобальта имеют подчиненное значение.

Помимо указанных собственно никелевых и никель-кобальтовых геолого-промышленных типов месторождений крупные природные концентрации кобальта характерны для некоторых месторождений меди типа медистых песчаников и сланцев (Заир, Замбия), а никеля и кобальта — для морских железо-марганцевых конкреций.

Характеристика важнейших месторождений меди, свинца и цинка, никеля и кобальта основных геолого-промышленных типов приведена в табл. 14.

Промышленные типы руд

По набору и составу главных рудообразующих компонентов руды месторождений цветных металлов разделяются на 78 промышленных типов и подтипов (табл. 15). В названия промышленных типов руд включены наименования тех рудообразующих элементов, из которых доля каждого в суммарной ценности руд превышает 10 %. Другие попутные компоненты (элементы), из которых доля каждого в суммарной ценности руд превышает 3 % (но менее 10 %), указаны после главных компонентов как

Таблица 15

Классификация промышленных типов руд меди, свинца и цинка, никеля и кобальта

Геолого-промышленный тип месторождений (индекс в табл. 13)	Промышленный тип и подтип руд	Минеральный тип руд (по набору главных минералов)	Полезные компоненты	
			основные	второстепенные
		Медь		
1.2	Железо-медные ванадий-титансодержащие в габброидах — первичные	Борнит-халькопирит-титаномагнетитовый с апатитом	Железо, ванадий, титан	Фосфор, сера, селен, теллур, платиноиды
	Железо-медные ванадий-титансодержащие в габброидах — окисленные и смешанные	Малахит-азурит-лимонитовый, борнит-халькопирит-титаномагнетитовый, халькозиновый		Фосфор, сера, селен, теллур, платиноиды
1.3	Железо-медные карбонатитовые	Халькопирит-борнит-магнетитовый с апатитом	Железо	Фосфор, сера, селен, теллур, серебро, золото
1.4	Железо-медные золото-серебросодержащие скарновые — первичные	Борнит-халькопирит-пирит-магнетитовый с молибденитом	Железо, серебро, золото	Кобальт, молибден, сера, селен, теллур
	Железо-медные золото-серебросодержащие скарновые — окисленные и смешанные	Малахит-азурит-куприт-лимонитовый, борнит-халькопирит-пирит-магнетитовый	Серебро, золото	Сера, селен, теллур
1.4	Свинцово-цинково-медные серебросодержащие скарновые	Галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый	Цинк, свинец, серебро	Сера, селен, теллур
1.5	Молибденово-медные порфировые — первичные	Молибденит-халькопирит-пиритовый	Молибден	Рений, серебро, золото, сера, селен, теллур
	Молибденово-медные порфировые — вторичного сульфидного обогащения	Халькозиновый с ковеллином и борнитом		Серебро, золото, сера, селен, теллур
	Молибденово-медные порфировые — окисленные и смешанные	Малахит-лимонитовый с хризоколлой и брошантитом, халькозиновый		

1.5	Молибденово-медные серебро-золотосодержащие порфировые — первичные	Молибденит-халькопирит-пиритовый	Молибден, золото, серебро	Рений, сера, селен, теллур
	Молибденово-медные серебро-золотосодержащие порфировые — вторичного сульфидного обогащения	Халькозиновый с ковеллином и борнитом	Золото, серебро	Сера, селен, теллур
	Молибденово-медные серебро-золотосодержащие порфировые — окисленные и смешанные	Хризоколла-малахит-лимонитовый с брошантитом, халькозиновый		Золото, серебро
1.6	Медные золото-серебросодержащие жильные — первичные	Халькопирит-пиритовый	Серебро, золото	Сера, селен, теллур
	Медные золото-серебросодержащие жильные — окисленные и смешанные	Брошантит-малахит-лимонитовый, халькопирит-пиритовый	Серебро, золото	Сера, селен, теллур
1.6	Молибденово-медные золото-серебросодержащие жильные — первичные	Молибденит-халькопирит-магнетит-пиритовый	Молибден, серебро, золото	Железо, сера, селен, теллур
	Молибденово-медные золото-серебросодержащие жильные — окисленные и смешанные	Азурит-малахит-лимонитовый, халькопирит-магнетит-пиритовый	Серебро, золото	Сера, селен, теллур
1.6	Свинцово-цинково-медные золото-серебросодержащие жильные	Галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый	Цинк, свинец, серебро, золото	Сера, селен, теллур, висмут
1.7	Медные в лавовых покровах и конгломератах	Самородномедный		Серебро
1.8	Медные колчеданные	Халькопирит-пиритовый		Сера, селен, теллур
1.8	Медные золото-серебросодержащие колчеданные — массивные	Халькопирит-пиритовый (пирротиновый)	Серебро, золото, сера	Селен, теллур
	Медные золото-серебросодержащие колчеданные — прожилково-вкрапленные	Халькопирит-пиритовый (пирротиновый)	Серебро, золото	Сера, селен, теллур

Продолжение табл. 15

Геолого-промышленный тип месторождений (индекс в табл. 13)	Промышленный тип и подтип руд	Минеральный тип руд (по набору главных минералов)	Полезные компоненты	
			основные	второстепенные
1.8	Цинково-медные колчеданные — массивные	Сфалерит-халькопирит-пирит-пирротиновый	Цинк, сера	Серебро, золото, кадмий, селен, теллур
	Цинково-медные колчеданные — прожилково-вкрапленные	Сфалерит-халькопирит-пирит-пирротиновый	Цинк	Серебро, золото, сера, кадмий, селен, теллур
1.8	Цинково-медные золото-серебросодержащие колчеданные — массивные	Сфалерит-халькопирит-пиритовый (пирротиновый)	Цинк, сера, серебро, золото	Кадмий, селен, теллур, индий, таллий, германий
1.8	Свинцово-цинково-медные золото-серебросодержащие колчеданные — массивные	Галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый	Цинк, свинец, сера, серебро, золото	Кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
	Свинцово-цинково-медные золото-серебросодержащие колчеданные — прожилково-вкрапленные	Галенит-сфалерит-халькопирит-пиритовый	Цинк, свинец серебро, золото	Сера, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
1.8	Кобальтово-медные цинксодержащие колчеданные	Сфалерит-халькопирит-пиритовый (пирит кобальтоносный)	Кобальт, цинк	Сера, кадмий, селен, теллур, серебро, золото
1.9	Медные серебросодержащие в песчаниках — первичные	Халькопирит-борнит-халькозиновый, халькопирит-борнитовый, борнит-халькозиновый	Серебро	Сера, рений, селен, теллур
	Медные серебросодержащие в песчаниках — окисленные и смешанные	Брошантит-куприт-самородная медь-малахитовый, халькопирит-борнит-халькозиновый	Серебро	Сера, рений, селен, теллур
1.9	Свинцово-медные серебросодержащие в песчаниках и сланцах	Галенит-халькопирит-борнит-халькозиновый	Свинец, серебро	Сера, рений, селен, теллур

1.9	Кобальтово-медные в песчаниках и сланцах — первичные	Пирит-халькопирит-борнит-халькозиновый с карролитом и линнеитом	Кобальт	Сера, цинк, селен, теллур
	Кобальтово-медные в песчаниках и сланцах — окисленные и смешанные	Брошантит-куприт-самородная медь-малахитовый с гетерогенитом и асболанами, пирит-халькопирит-борнит-халькозиновый с карролитом и линнеитом	Кобальт	Сера, цинк, селен, теллур
		Свинец		
2.1	Цинково-свинцовые серебросодержащие	Сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый, магнетит-пирит-сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенитовый с блеклыми рудами	Цинк, серебро	Сера, кадмий, висмут, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.1	Серебро-цинково-свинцовые	Блеклые руды-сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый, арсенопирит-сфалерит-галенитовый	Цинк, серебро	Сера, кадмий, висмут, мышьяк, сурьма, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Цинково-свинцовые	Сфалерит-галенитовый, галенит-сфалеритовый, пирит-сфалерит-галенитовый	Цинк	Серебро, золото, висмут, сера, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Серебро-свинцовые	Аргентит-галенитовый, пираргирит-галенитовый, сфалерит-галенитовый, блеклые руды-сфалерит-галенитовый	Серебро	Золото, висмут, сера, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Цинково-свинцовые серебросодержащие	Сфалерит-галенитовый, арсенопирит-сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый, пирротин-сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенитовый с блеклыми рудами	Цинк, серебро	Висмут, золото, мышьяк, сера, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Цинково-свинцовые золото-серебросодержащие	Сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый, пирротин-сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенитовый с блеклыми рудами	Цинк, серебро, золото	Висмут, мышьяк, сера, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.4	Цинково-свинцовые колчеданные	Сфалерит-галенит-пирротиновый, сфалерит-галенит-пиритовый, сидерит-сфалерит-галенит-пирротиновый	Цинк	Серебро, сера, кадмий, селен, теллур, таллий, галлий, германий

Продолжение табл. 15

Геолого-промышленный тип месторождений (индекс в табл. 13)	Промышленный тип и подтип руд	Минеральный тип руд (по набору главных минералов)	Полезные компоненты	
			основные	второстепенные
2.3 2.5	Цинково-свинцовые медьсодержащие колчеданные	Сфалерит-галенит-пиритовый, халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый	Цинк, медь	Золото, серебро, сера, кадмий, висмут, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3 2.5	Цинково-свинцовые серебросодержащие колчеданные	Сфалерит-галенит-пиритовый, галенит-сфалерит-пиритовый с блеклыми рудами	Цинк, серебро	Золото, сера, кадмий, висмут, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.6	Свинцовые цинксодержащие прожилково-вкрапленные	Галенитовый, сфалерит-галенитовый	Цинк	Серебро, сера, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
2.6	Цинково-свинцовые прожилково-вкрапленные	Сфалерит-галенитовый, пирит-галенит-сфалеритовый, барит-пирит-сфалерит-галенитовый	Цинк	Серебро, сера, барит, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
2.6	Цинково-свинцовые серебросодержащие прожилково-вкрапленные	Сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый, сфалерит-галенитовый с блеклыми рудами, барит-галенитовый с блеклыми рудами	Цинк, серебро	Сера, барит, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
2.6	Цинково-свинцовые баритсодержащие прожилково-вкрапленные	Сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый, галенит-сфалеритовый, барит-сфалерит-галенитовый	Цинк, барит	Сера, серебро, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий

Цинк

2.1	Свинцово-цинковые	Галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый, халькопирит-пирит-галенит-сфалеритовый, арсенопирит-пирит-галенит-сфалеритовый	Свинец	Сера, медь, серебро, золото, кадмий, висмут, селен, таллур, индий, таллий, галлий, германий
2.1	Свинцово-цинковые серебросодержащие	Галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый, пирротин-галенит-сфалеритовый, магнетит-галенит-сфалеритовый, магнетит-халькопирит-сфалерит-галенитовый, галенит-сфалеритовый с блеклыми рудами	Свинец, серебро	Сера, медь, золото, кадмий, висмут, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.1	Серебро-свинцово-цинковые	Блеклые руды-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалеритовый, арсенопирит-галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый	Свинец, серебро	Сера, золото, кадмий, висмут, мышьяк, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Свинцово-цинковые серебросодержащие	Галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый, пирротин-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалеритовый с блеклыми рудами	Свинец, серебро	Сера, золото, кадмий, висмут, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Серебро-свинцово-цинковые	Блеклые руды-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый, пирротин-галенит-сфалеритовый	Свинец, серебро	Сера, золото, кадмий, висмут, мышьяк, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.2	Олово-свинцово-цинковые серебросодержащие	Касситерит-галенит-сфалеритовый, касситерит-галенит-сфалеритовый с блеклыми рудами	Свинец, олово, серебро	Сера, золото, кадмий, висмут, мышьяк, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.5	Свинцово-цинковые колчеданные	Галенит-сфалерит-пиритовый, галенит-сфалерит-пирротиновый, халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый	Свинец	Сера, медь, серебро, золото, кадмий, селен, теллур
2.3	Медно-свинцово-цинковые колчеданные	Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, халькопирит-сфалерит-пиритовый, галенит-сфалерит-пиритовый	Свинец, медь	Сера, золото, серебро, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий

Продолжение табл. 15

Геолого-промышленный тип месторождений (индекс в табл. 13)	Промышленный тип и подтип руд	Минеральный тип руд (по набору главных минералов)	Полезные компоненты	
			основные	второстепенные
2.3	Медно-свинцово-цинковые серебросодержащие колчеданные	Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, галенит-сфалерит-пиритовый с блеклыми рудами, халькопирит-сфалерит-пиритовый с пирротином и арсенопиритом	Свинец, медь, серебро	Сера, золото, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Медно-свинцово-цинковые золото-серебросодержащие колчеданные	Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, халькопирит-сфалерит-пиритовый, галенит-сфалерит-пиритовый с аргентитом и тетраэдритом	Свинец, медь, серебро, золото	Сера, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Свинцово-медно-цинковые серебросодержащие колчеданные	Галенит-халькопирит-сфалерит-пиритовый, халькопирит-сфалерит-пиритовый, халькопирит-пиритовый, халькопирит-сфалерит-пирротиновый, галенит-халькопирит-сфалерит-пиритовый с блеклыми рудами	Медь, свинец, серебро	Золото, сера, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Свинцово-медно-цинковые золото-серебросодержащие колчеданные	Галенит-халькопирит-сфалерит-пиритовый, галенит-халькопирит-сфалерит-пиритовый с теллуридами и блеклыми рудами, халькопирит-сфалерит-пиритовый	Медь, свинец, серебро, золото	Сера, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Свинцово-цинковые баритсодержащие колчеданные	Галенит-сфалерит-пиритовый, барит-галенит-сфалеритовый	Свинец, барит	Сера, серебро, висмут, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий

2.3	Свинцово-цинковые серебросодержащие колчеданные	Галенит-сфалерит-пиритовый, сфалерит-пиритовый, сидерит-галенит-сфалерит-пиритовый, сфалерит-галенит-пиритовый с блеклыми рудами	Свинец, серебро	Сера, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Свинцово-цинковые золото-серебросодержащие колчеданные	Галенит-сфалерит-пиритовый, сфалерит-галенит-пиритовый, сфалерит-галенит-пиритовый с блеклыми рудами	Свинец, серебро, золото	Сера, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Барит-свинцово-цинковые золото-серебросодержащие колчеданные	Барит-галенит-сфалерит-пиритовый, барит-галенит-сфалерит-пиритовый с блеклыми рудами и аргентитом	Свинец, барит, серебро, золото	Сера, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
2.3	Золото-серебро-свинцово-цинковые колчеданные	Халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый, барит-галенит-сфалерит-пиритовый, барит-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалерит-баритовый с блеклыми рудами (и самородным золотом)	Свинец, серебро, золото	Сера, барит, висмут, мышьяк, кадмий, селен, теллур, индий, таллий, галлий, германий
1.8	Медно-цинковые колчеданные — массивные	Халькопирит-сфалерит-пирит-пирротиновый	Медь, сера	Серебро, кадмий, селен, теллур
	Медно-цинковые колчеданные — прожилково-вкрапленные	Халькопирит-сфалерит-пирит-пирротиновый	Медь	Сера, серебро, кадмий, селен, теллур
1.8	Медно-цинковые золото-серебросодержащие колчеданные — массивные	Халькопирит-сфалерит-пиритовый (пирротиновый)	Медь, серебро, золото	Кадмий, селен, теллур
	Медно-цинковые золото-серебросодержащие колчеданные — прожилково-вкрапленные	Халькопирит-сфалерит-пиритовый	Медь, серебро, золото	Сера, кадмий, селен, теллур
1.8	Цинковые медьсодержащие колчеданные	Халькопирит-сфалерит-пиритовый	Медь, сера	Серебро, золото, кадмий, селен, теллур

Геолого-промышленный тип месторождений (индекс в табл. 13)	Промышленный тип и подтип руд	Минеральный тип руд (по набору главных минералов)	Полезные компоненты	
			основные	второстепенные
2.6	Цинковые свинецсодержащие прожилково-вкрапленные	Сфалеритовый, галенит-сфалеритовый, пирит-галенит-сфалеритовый	Свинец	Серебро, сера, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
2.4 2.6	Свинцово-цинковые прожилково-вкрапленные	Галенит-сфалеритовый, сфалеритовый, пирит-сфалеритовый	Свинец	Серебро, сера, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
2.4 2.6	Свинцово-цинковые серебросодержащие прожилково-вкрапленные	Галенит-сфалеритовый, сфалерит-галенитовый, пирит-сфалерит-галенитовый с блеклыми рудами	Свинец, серебро	Сера, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
2.4 2.6	Барит-свинцово-цинковые серебросодержащие прожилково-вкрапленные	Барит-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалерит-баритовый, галенит-баритовый, галенит-сфалеритовый, пирит-сфалерит-галенитовый, барит-галенит-сфалеритовый с блеклыми рудами	Свинец, барит, серебро	Сера, кадмий, висмут, селен, теллур, таллий, галлий, германий
		Никель		
3.1	Медно-никелевые кобальтсодержащие — сплошные и брекчиевидные	Халькопирит-пентландит-пирротиновый	Медь, кобальт, сера	Платиноиды, золото, серебро, селен, теллур

	Медно-никелевые кобальтсодержащие — прожилково-вкрапленные	Халькопирит-пентландит-пирротиновый	Медь, кобальт	Сера, платиноиды, золото, серебро, селен, теллур
3.1	Платиноидно-медно-никелевые кобальтсодержащие — массивные	Пентландит-халькопирит-пирротиновый с минералами платиноидов, пентландит-пирротин-халькопирит-кубанитовый с минералами платиноидов, пентландит-пирротин-халькопиритовый (моихукитовый, талнахитовый) с минералами платиноидов, пентландит-пирротин-борнит-халькопиритовый с минералами платиноидов	Медь, платиноиды, кобальт, сера	Золото, серебро, селен, теллур
	Платиноидно-медно-никелевые кобальтсодержащие — вкрапленные в интрузивных породах	Пентландит-халькопирит-пирротиновый с минералами платиноидов, пентландит-пирротин-халькопирит-кубанитовый с минералами платиноидов, пентландит-пирротин-кубанит-халькопиритовый (моихукитовый, талнахитовый) с минералами платиноидов	Медь, платиноиды, кобальт	Сера, золото, серебро, селен, теллур
	Платиноидно-медно-никелевые кобальтсодержащие — прожилково-вкрапленные в осадочно-метаморфических породах	Пентландит-халькопирит-пирротиновый с минералами платиноидов, пентландит-пирротин-халькопиритовый с минералами платиноидов, пентландит-миллерит-борнит-халькопиритовый с минералами платиноидов	Медь, платиноиды, кобальт	Сера, золото, серебро, селен, теллур
3.3	Кобальтово-никелевые силикатные	Серпентин-нонтронитовый, керолит-гарниеритовый, гетит-нонтронит-гарниеритовый	Кобальт	
		Кобальт		
3.2	Мышьяк-никель-кобальтовые серебросодержащие	Саффлорит-шмальтин-раммельсбергит-никелиновый с минералами серебра и меди	Никель, мышьяк, серебро	Висмут, медь

«содержащиеся» в рудах. Второстепенные попутные компоненты (элементы), доля которых в суммарной ценности руд менее 3 %, в названии промышленных типов руд не отражены. Важнейшие разновидности руд (текстурные, по степени окисленности и др.), требующие, как правило, отдельных схем технологической переработки, выделены в самостоятельные подтипы.

Геолого-промышленные типы месторождений характеризуются не одним, а несколькими типами руд, отличающимися по химическому и минеральному составу, определяющему их технологические свойства. Каждый промышленный тип (подтип) руд охарактеризован одним или несколькими наборами главных рудных минералов (минеральными типами). Выделенные минеральные типы руд характеризуются большим разнообразием текстур и структур.

МЕТОДЫ ПОИСКОВ

Методы поисков разделяются на следующие основные группы: методы геологического картирования, геофизические, геолого-минералогические, геохимические методы.

Методы геологического картирования

Группа методов геологического картирования включает все визуальные геологические методы, используемые при геологической съемке различных масштабов и поисках полезных ископаемых. Сама по себе геологическая съемка имеет самостоятельное значение как один из главных методов поисков. Только путем анализа геологических карт района выявляются геологические закономерности, контролирующие размещение полезных ископаемых. Геологическая карта является также основой для обоснования постановки других методов поисков, так как знание геологического строения изучаемой территории, наряду с другими факторами, позволяет правильно выбрать методы поисков, определить их масштаб, направление поисковых линий, густоту точек наблюдения и главное — правильно интерпретировать фактические материалы, полученные в результате работ. Наконец, сведения о геологическом строении исследуемой площади в комплексе с другими материалами, собранными при поисках, позволяют произвести обоснованную геологическую оценку перспектив выявленного объекта и дать прогноз о его возможном промышленном значении.

Масштаб геологических съемок, проводимых с целью поисков, зависит от сложности геологического строения изучаемой площади и от поставленных задач. Геологические карты масштаба 1 : 100 000 — 1 : 1 000 000 называются региональными. По содержанию это карты комплексные. На них должны быть отражены все необходимые данные, имеющие отношение к геологическим предпосылкам поисков и поисковым признакам. Карты масштабов 1 : 50 000—1 : 25 000 также должны быть комплексными, но спе-

циализированными на определенный вид полезного ископаемого. Для изучаемого района они служат основным документом, обосновывающим постановку поисковых работ.

Более крупномасштабные геологические съемки — 1 : 10 000, 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 — производятся со специальными поисково-оценочными и разведочными целями [38].

Кондиционность геологической карты заключается в соответствии ее содержания масштабу. Чем крупнее масштаб карты, тем подробнее должна быть легенда, более дробными расчленение комплексов пород, выделение структурных элементов и т. д. Кроме того, все контуры, границы, элементы залегания пород должны быть установлены более точно и обоснованно. Следовательно, чем крупнее масштаб геологической карты и сложнее геологическое строение района, тем большее количество требуется наблюдений на единицу исследуемой площади.

Большое значение при проведении геологической съемки (в том числе и крупномасштабной) и поисков имеет использование аэрофотоснимков, при дешифрировании которых удается установить простирание пород, тектонические нарушения, системы трещин, дайки изверженных пород, рудные тела, контуры измененных пород и т. д.

Использование аэрометодов в комплексе с геологическими и геофизическими исследованиями, несомненно, повышает эффективность геологопоисковых работ. Однако возможности аэрометодов ограничены, так как на одном снимке мелкого масштаба может поместиться площадь до 300 км^2. Более же крупные структурные элементы, протягивающиеся на сотни и тысячи километров и оказывающие существенное влияние на металлогеническую специализацию региональных структур и отдельных рудных районов, не могут быть отражены на отдельных снимках.

Изучение таких крупных геологических образований стало возможным при использовании материалов космических фотосъемок. Космические снимки, обладая такими уникальными свойствами как большая обзорность, объективность отображения характера поверхности Земли и естественная генерализация изображения, являются тем материалом, который дает возможность повысить эффективность и надежность изучения общих закономерностей формирования и строения земной коры, а следовательно и более обоснованно подходить к структурно-формационным и металлогеническим построениям, лежащим в основе направления поисковых работ.

Геофизические методы

Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых основаны на изучении естественных или искусственно создаваемых физических полей, в которых отражаются различия горных пород и руд по физическим свойствам.

По видам изучаемых полей геофизические методы подразделяются на магниторазведку, гравиразведку, электроразведку, сейсморазведку и ядерную геофизику. По месту проведения измерений выделяются воздушные, морские (в том числе подводные), наземные, подземные съемки, скважинные исследования и лабораторные определения [5].

Магниторазведка объединяет геофизические методы, которые в целях решения тех или иных геологоразведочных задач прибегают к изучению магнитного поля Земли. Характер последнего зависит от состава и строения геологических образований, слагающих тот или иной участок земной коры.

Магниторазведка широко используется при поисках многих полезных ископаемых и, в первую очередь, скоплений магнетитовых и титаномагнетитовых руд. При поисках всех других полезных ископаемых магниторазведка либо позволяет выявлять те или иные факторы, контролирующие оруденение, либо обнаруживать сами рудные тела по наличию в них сопутствующих ферромагнитных минералов.

Приборы, используемые для измерения индукции магнитного поля, называются магнитометрами. Полевые магнитометры подразделяются на следующие типы: оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые.

Полевые оптико-механические магнитометры предназначены только для наземных пешеходных съемок. В СССР наиболее распространены приборы М-27 и М-27М.

Феррозондовые магнитометры применяются для измерения магнитного поля в скважинах и при аэромагнитной съемке. Из скважинных магнитометров наиболее распространен ТСМК-30, позволяющий использовать скважины диаметром 36 мм и более глубиной до 2000 м. Эффективный радиус использования 150—200 м. Из аэромагнитометров обычно применяют АМФ-21, АМ-13, регистрация магнитного поля на которых осуществляется в виде непрерывной кривой на бумажной ленте, где также записываются высота полета, марки времени, сигналы о прохождении ориентиров на выполненных фотоснимках, необходимых для привязки наблюдений в плане.

Протонные магнитометры нашли наиболее широкое применение при гидромагнитной съемке, где используются различные модификации приборов МПМ и магнитометр АПМ-3.

Выпускаемые в СССР серийно четыре модели квантовых магнитометров с оптической накачкой предназначены для наземной пешеходной (М-33), автомобильной (ММА-301) и воздушной (КАМ-28 и ММ-305) магнитных съемок.

Гравиразведочные методы основаны на изучении распределения и изменения силы тяжести на поверхности Земли.

Измерения гравитационного поля выполняются на поверхности суши, на море, в скважинах и подземных горных выработках. В значительных объемах проводятся аэрогравиметрические работы. Основными полевыми приборами, предназначенными для

относительных измерений силы тяжести, служат гравиметры, среди которых наиболее распространены ГАК-7Т, ГРК-2, ГНУ-К1, ГНУ-К2, «ДЕЛЬТА». На основе гравиметров КДГ в СССР создан скважинный гравиметр ГСК-110.

Электроразведка объединяет многочисленные геофизические методы исследования геологического строения земной коры, основанные на изучении постоянных и переменных электромагнитных полей естественных и искусственно создаваемых источников. Среди них выделяются следующие группы методов.

1. Методы сопротивлений, основанные на изучении искусственно созданного поля постоянного тока (различные виды электропрофилирования, электрозондирования и метод заряда).

2. Методы изучения полей физико-химического происхождения (естественного поля, вызванной поляризации, частичного извлечения металлов и контактный способ поляризационных кривых).

3. Методы низкочастотного электромагнитного поля (индуктивные методы — дипольного индуктивного профилирования, длинного кабеля, переходных процессов; электромагнитные зондирования — частотные, становления поля; магнитотеллурические методы — зондирования, профилирования и теллурических токов).

4. Радиоволновые методы (радиокомпарации и пеленгации, радиоволновое просвечивание).

Большинство перечисленных методов используется при наземных электроразведочных исследованиях, а также в скважинах и подземных горных выработках большого сечения, но некоторые низкочастотные и радиоволновые методы применяются и в аэроварианте.

Электропрофилирование. Сущность метода состоит в измерении кажущегося сопротивления установкой при ее перемещении вдоль заданных направлений (профилей). В практике работ наиболее широко применяются установки: четырехэлектродные симметричные (симметричное профилирование), срединных градиентов, совокупности двух трехэлектродных установок (комбинированное профилирование) и дипольные (дипольное профилирование).

Электрозондирование. Метод применяют для установления глубины залегания горизонтальных или пологопадающих границ раздела пород с разными электрическими сопротивлениями. Основные геологические задачи — расчленение разреза осадочных толщ, изучение поведения кровли фундамента и оценка мощности рыхлых отложений, перекрывающих коренные породы. В зависимости от вида применяемых установок различают симметричное вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), двухэлектродное — потенциал-зондирование, трехэлектродное — градиент-зондирование и дипольные электрозондирования — дипольно-азимутальное (ДАЗ), дипольно-экваториальное (ДЭЗ) и дипольно-осевое (ДОЗ), которые широко применяются на практике.

Метод заряженного тела (МЗТ), называемый также методом заряда (МЗ), используют в различных модификациях:

заряженного тела, электрической корреляции, погруженного электрода. Метод основан на изучении распределения электрического или магнитного поля (потенциала и градиента потенциала) от источника тока, помещенного в горные породы. Цель исследований — обнаружение, прослеживание и определение элементов залегания и размеров преимущественно сульфидных рудных тел, главным образом, на медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических и медно-никелевых месторождениях.

При проведении работ методом заряда используется аппаратура и станции для измерения при постоянном и низкочастотном переменном токе СВП-74, АЭ-72, ИКС-50, ИКС-600 и другие, которые позволяют проводить работы в скважинах практически любого диаметра глубиной до 1000 м и более. Дальность исследования от ствола скважины — 500 м.

Метод естественного электрического поля (ЕП). Метод основан на изучении постоянных естественных электрических полей, обусловленных различными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Естественные поля имеют разную природу и связаны с разными геологическими объектами. Наибольший практический интерес представляют поля природных электронных проводников (сульфидных руд, магнетита, графита, антрацита), которые получили название «рудных» (или электрохимических) полей.

Метод вызванной поляризации (ВП). Метод основан на использовании электрохимических явлений, происходящих на границе обладающих ионной проводимостью пород или электронных проводников (руд) с окружающей их жидкостью — электролитом под действием пропускаемого в земле электрического тока и сопровождаемых возникновением вторичных э. д. с.

При проведении поисковых работ методом ВП сочетание измерений на земной поверхности и в скважинах позволяет получить представление о пространственной структуре поля ВП, уточнить положение руд в разрезе. С этой целью используют установки погруженного электрода и вертикального градиента, что существенно увеличивает разрешающую способность метода. Для установления возможной связи между рудными пересечениями соседних скважин применяются установки электрической корреляции.

Дипольное индуктивное профилирование (ДИП). Метод применяется для поисков руд с высокой электропроводимостью и основан на изучении вихревых токов, искусственно наведенных в электропроводящих объектах, находящихся в окрестностях обследования. Характерной особенностью метода является его высокая разрешающая способность при разделении объектов по электропроводности.

Метод скважинной низкочастотной индукционной электроразведки. Основным характером метода является однoскважинное дипольное электромагнитное профилирование (ДЭМПС), обеспечивающее радиальное зондирование

околоскважинного пространства и получение большого объема информации о подсеченных и пропущенных скважинами электропроводящих объектах. ДЭМПС с аппаратурой АСМИ-40 (АСМИ-40М) позволяет решать следующие задачи: обнаружение рудных объектов в радиусе до 80 м от ствола исследуемой скважины, оценка их размеров, морфологии и однородности, определение пространственного положения рудных тел относительно скважины (расстояние до ближайших кромок, азимут на рудное тело), элементов их залегания (угол падения маркирующего горизонта и его простирание), характера выклинивания и др.

Аэроварианты ДИП — дипольное индуктивное профилирование с жестким креплением генераторной и приемной рамок на крыльях самолета (ДИП-ЖК) или с расположением ортогональных приемных рамок в выпускной гондоле (ДИП-А, ДИП-АД) на расстоянии 30—120 м от самолета и метод вращающегося магнитного поля (ВМП). В методе ВМП применяются две взаимно перпендикулярные соосные генераторные рамки с одинаковыми магнитными моментами и такие же приемные установки, расположенные на двух летящих друг за другом самолетах на расстоянии 200—300 м.

Метод переходных процессов (МПП). Импульсное изучение первичного поля наземной петлей кабеля применяется для поисков месторождений сульфидных руд, имеющих очень высокую электропроводность. Метод обладает меньшей, чем другие методы электроразведки, чувствительностью к изменениям рельефа местности и мощности рыхлых отложений и обеспечивает бóльшую, чем другие индуктивные методы, глубинность исследования.

Наземные исследования переходных процессов выполняют в двух вариантах: однопетлевом (МППО), в котором поле создается и изучается одной и той же петлей, разложенной на земной поверхности; рамочно-петлевом (МППР), в котором поле создается петлей, а изучается с помощью автономной приемной рамки.

При измерениях методом переходных процессов используют комплекты аппаратуры с аналоговой (МППО-1, МПП-3, МППУ-2) и цифровой (ЦИКЛ-1) записью. Глубинность исследований с аналоговой аппаратурой достигает 200 м, с цифровой — 400 м.

Радиоволновые методы электроразведки основаны на изучении электромагнитных полей высокой частоты, создаваемых специальными портативными передатчиками либо вещательными радиостанциями. Основными из них являются метод радиокомпарации и пеленгации («радиокип»), который базируется на изучении полей дальних длинноволновых и сверхдлинноволновых радиостанций, уверенный прием волн которых наблюдается на расстояниях соответственно 1 000 и 12 000 км, и метод радиоволнового просвечивания, основанный на изучении изменений электромагнитного поля, вызванных различной способ-

ностью поглощения электромагнитной энергии горными породами и рудами.

Радиоволновое просвечивание в горных выработках выполняют с комплектом аппаратуры АЭММ-В4 или АЭММ-30, предназначенной для шахтных и скважинных исследований. Комплекты аппаратуры СРП-7 и СРП-30 предназначены только для скважинных измерений.

Геоэлектрохимические методы. Методы основаны на реализации электронных преобразований в форме электрохимических реакций электрического поля. Среди них выделяется три типа методов, основанных на электрическом возбуждении и регистрации электрохимических реакций; на электрическом возбуждении и вещественной регистрации электрохимических реакций; на регистрации вещественных изменений, происходящих в естественных геологических процессах.

К первому типу методов относится контактный и бесконтактный способы поляризационных кривых (КСПК и БСПК). Сущность контактного способа поляризационных кривых заключается в последовательном возбуждении на минералах рудного тела электрохимических реакций и регистрации их в виде поляризационных кривых. Последние отражают зависимость силы тока, пропускаемого через рудное тело, от потенциала электрохимической реакции, проходящей на границе оруденения с вмещающей средой.

В отличие от КСПК наблюдения БСПК проводятся без непосредственного контакта с оруденением и могут служить для поисков новых рудных тел и оценки состава и масштабов объектов, отвечающих аномалиям геофизических и геохимических методов.

Ко второму типу геоэлектрохимических методов относится способ частичного извлечения металлов (ЧИМ), сущность которого состоит в электрохимическом растворении минералов, перемещении растворенных веществ в поле электрического тока, накоплении их в элементоприемниках и регистрации накопленных компонентов химическими или другими методами анализа. Способ частичного извлечения металлов предназначен для выявления и прослеживания глубокозалегающих месторождений меди, свинца, цинка, никеля, золота и других элементов, разбраковки геофизических аномалий и выделения рудных интервалов при каротаже скважин.

К третьему типу геоэлектрохимических методов, направленных на выявление глубокозалегающих месторождений, относится метод поисков с использованием гуматно-фульватных форм нахождения элементов. Сущность метода состоит в выделении из отработанных почвенных проб гуматов и фульватов, определении в них искомых элементов и прослеживании их количеств вдоль линии наблюдений или по площади. Метод предназначен для обнаружения месторождений полезных ископаемых (свинца, цинка, меди, никеля, золота, олова и др.) под покровом рыхлых отложений мощностью свыше 150 м, для выявления рудных тел в окрест-

ностях скважин на расстоянии до 300 м и для характеристики природы и положения источника геохимических ореолов.

Магнитотеллурические методы — зондирование (МТЗ), профилирование (МТП) и метод теллурических токов (МТТ) — основаны на изучении естественного нестационарного электромагнитного поля Земли. Происхождение магнитотеллурического поля связывается с воздействием на ионосферу Земли потока заряженных частиц, излучаемых солнцем. Магнитотеллурическое поле, имея очень низкую частоту, проникает на глубину десятков и даже сотен километров, поэтому магнитотеллурические методы являются самыми глубинными из геофизических методов и используются при региональных исследованиях на суше и море, мелко- и среднемасштабном геологическом картировании, а также при поисках нефте- и газоносных структур. Измерение вариаций электрической и магнитной компонент магнитотеллурического поля осуществляется с помощью электроразведочных станций с аналоговой (МТЛ-71) и цифровой (ЦЭС-2) записью.

Сейсморазведка основана на изучении распространения в земной коре упругих волн, возбуждаемых искусственным путем — взрывом, ударом или вибрацией. В зависимости от решаемых геологических задач и детальности исследований сейсморазведочные работы подразделяются на глубинные сейсмические зондирования, региональные, поисковые и детальные.

Сейсмические исследования, проводимые в связи с поисками рудных месторождений, называют рудной сейсморазведкой. Ее задачей является изучение как геологического строения района, так и отдельных структур, с которыми могут быть связаны рудные месторождения, прослеживание зон разрывных нарушений, контактов (в том числе на глубину), определение рельефа коренных пород и т. д.

К группе сейсмических методов относятся также пьезоэлектрический метод и метод межскважинного акустического просвечивания.

Пьезоэлектрический метод (ПЭМ) основан на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, заключающегося в свойстве определенных геологических объектов, содержащих минералы-пьезоэлектрики (кварц, турмалин, сфалерит, нефелин и др.), способные электрически поляризоваться при механических деформациях, вызванных упругой волной.

Метод применяется в скважинном, шахтном и наземном вариантах, главным образом на стадии детальных поисков и разведки рудно-кварцевых (золота, олова) и пегматитовых (слюды, горного хрусталя и др.) месторождений. В последние годы метод начал применяется на полиметаллических месторождениях существенно сфалеритового состава.

Для скважинных и наземных наблюдений применяется аппаратура «Кварц-1» и 8СЭФ-2М; в шахтных условиях используется аппаратура ПАМЗ-8 и ПЭЭФ-3.

Таблица 16

Геофизические методы и измеряемые физические параметры

Метод	Измеряемые физические параметры, их обозначение (индекс) и единицы измерения
Магнитометрия	Магнитное поле (T, ΔT), нТ
Гравиметрия	Распределение силы тяжести (Δg), мГ
Метод естественного электрического поля (ЕП)	Постоянное естественное электрическое поле (ΔV), мВ
Симметричное вертикальное электрозондирование (ВЭЗ)	Электрическое сопротивление ($\rho_к$), Ом·м
Дипольное азимутальное зондирование (ДАЗ)	То же
Дипольное экваториальное зондирование (ДЭЗ)	»
	»
Дипольное осевое зондирование (ДОЗ)	»
Метод заряженного тела (МЗТ, МЗ)	Электрический потенциал и градиент потенциала (V, ΔV), мВ
Метод вызванной поляризации (ВП)	Вторичные электродвижущие силы ($\eta_к$ и $S_к$), % и Ом·м
Метод переходных процессов (МПП)	ЭДС переходного процесса, мкВ, электромагнитный параметр — кажущаяся электропроводность (σ), Сим/м
Дипольное индуктивное профилирование (ДИП)	Компоненты напряженности электромагнитного поля дипольных источников, электромагнитный параметр — кажущаяся электропроводность (σ), Сим/м
Метод радиоволнового просвечивания (РВП)	Компоненты напряженности электромагнитного поля, коэффициент экранирования (Э), отн. ед.
Контактный и бесконтактный геоэлектрохимические способы поляризационных кривых (КСПК, БСПК)	Параметры электрохимических реакций, искусственно возбуждаемых на рудных минералах (ΔV и JA), мВ и км^2
Геоэлектрохимический метод частичного извлечения металлов (ЧИМ)	Содержания химических элементов, накопленных в элементоприемнике при пропускании электрического тока, %
Магнитотеллурические методы: зондирования и профилирования и метод теллурических токов (МТЗ, МТП, МТТ)	Естественное электромагнитное поле Земли, ЭДС на приемных датчиках, мкВ, кажущееся удельное электросопротивление (ρΩ) Ом·м, продольная проводимость (S)
Сейсмическое зондирование (СЗ, ГСЗ)	Скорость распространения упругих волн (V), м/сек
Пьезоэлектрический метод (ПЭМ)	Пьезоэлектрические свойства минералов, ЭДС на приемных датчиках
Метод межскважинного акустического просвечивания (МАП)	Скорость распространения, амплитуда и длительность импульсов упругих колебаний (V, t), м/сек и сек.

Таблица 17

Геофизические методы, используемые при поисках месторождений цветных металлов (по материалам «Рудгеофизика»)

Основные физические типы месторождений	Группы месторождений со сходными физическими свойствами	Основные рудные формации	Морфология рудных тел	Агрегатное состояние руд	Физические параметры руд: основные	Физические параметры руд: дополнительные	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: скарнов (+κ, +σ, +η)	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: сульфидизации (+η)	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: окварцевания (+ρ, −κ)	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: серицитизации и мусковитизации (+J, −κ)	Методы, используемые при поисках м-ний: основные	Методы, используемые при поисках м-ний: вспомогательные (детализационные)
	Магнетитсодержащие скарновые с магнитными рудами	Скарново-медная	П Л С	СП ПВ	+κ, −ρ	+σ, +η	+κ, +σ, +η				М, Э	ВП(ЕП), Г
		Скарново-полиметаллическая	Л П С	СП ПВ	+κ, +η	+σ, −ρ	+κ, +σ, +η				М, ЕП (ВП)	Г, Э
С аномальными магнитными свойствами	Сульфидные с контрастными магнитными и электрическими свойствами руд	Медно-никелевая	Л П Ж	СП ПВ	−ρ, +κ	+σ		+η			Э, М	ВП, Г
		Колчеданно-полиметаллическая	П Л	СП ПВ	−ρ, +κ	+σ, +η		+η			М, Э	Г, ЕП (ВП)
		Железо-марганцево-полиметаллическая	П Л	СП ПВ	−ρ, −κ	+σ, +η		+η			М, Э	Г, ЕП (ВП)

Продолжение табл. 17

Основные физические типы месторождений	Группы месторождений со сходными физическими свойствами	Основные рудные формации	Морфология рудных тел	Агрегатное состояние руд	Физические параметры руд: основные	Физические параметры руд: дополнительные	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: скарнов (+$\varkappa$, +σ, +η)	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: сульфидизации (+η)	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: окварцевания (+ρ, −$\varkappa$)	Физические параметры зон гидротермально-метасоматически измененных пород: серицитизации и мусковитизации (+I, −$\varkappa$)	Методы, используемые при поисках м-ний: основные	Методы, используемые при поисках м-ний: вспомогательные (детализационные)
С аномальными электрическими свойствами	Сульфидные с контрастными электрическими свойствами руд	Свинцово-цинковая стратиформная	П Л	СП ПВ	−ρ, +η	+σ		+η			Э, ВП (ЕП)	Г
		Колчеданно-полиметаллическая	П Л С	СП ПВ	−ρ, +σ	+η		+η			Э, ЕП	Г, ВП
		Медно-колчеданная	П Л	СП ПВ					−$\varkappa$	+I	Э, ЕП	Г, ВП
	Сульфидные со слабоконтрастными электрическими свойствами руд	Медистых песчаников	П	ПВ	+η			+η	−$\varkappa$	+I	ВП	
		Медно-порфировая	Л С Ш	ПВ	+η						ВП	М
		Полиметаллическая	Ж	ПВ	+η	−ρ		+η	−$\varkappa$	+I	ВП (ЕП)	Э
Неконтрастные	Непосредственно не выделяющиеся геофизическими методами	Силикатного никеля и др.	П	СП							М, Г	Э

Примечание. Форма рудных тел: П — пластовая и пластообразная, Л — линзы, С — столбо-, штоко- и трубообразная, Ж — жильная, Ш — штокверковая. Агрегатное состояние руд: СП — сплошные, ПВ — гнездово- и прожилково-вкрапленные. Физические параметры: σ — плотность, $\varkappa$ — магнитная восприимчивость, ρ — удельное сопротивление, η — поляризуемость, I — естественная радиоактивность. В скобках для отдельных процессов изменения даны наиболее характерные физические параметры (знак указывает отнесение их величины к параметру вмещающей среды: больше— «+», меньше— «—»), для конкретных формаций приведены ожидаемые параметры по сумме процессов. Геофизические методы: М — магниторазведка, Г — гравиразведка, Э — электроразведка методами сопротивления, ЕП — метод естественного электрического поля, ВП — метод вызванной поляризации, Р — радиометрические методы (гамма-спектрометрический и пр.). Отнесение методов к основным или вспомогательным может меняться в зависимости от конкретных физико-геологических условий района проведения работ.

Метод межскважинного акустического просвечивания предназначен для обнаружения и оконтуривания геологических неоднородностей (изометрические, жильные и пластовые рудные тела, карстовые пустоты и трещиноватые зоны), отличающиеся от вмещающих пород по упругим свойствам. Для акустических исследований используется аппаратура МАП-1 и МП-1 с диаметром скважинных приборов 64 и 54 мм соответственно. Дальность исследований — 100—200 м, глубинность — до 1000 м.

Ядерно-геофизическая разведка включает в себя группу методов, основанных на изучении естественной и искусственной радиоактивности.

Среди методов, основанных на изучении естественной радиоактивности, основная роль принадлежит гамма-методу, в котором регистрируют либо суммарное излучение всех естественных радиоактивных элементов — урана, тория и калия (интегральная модификация), — либо осуществляют их раздельное определение на основе анализа энергетического спектра — излучения (спектрометрическая модификация).

В методах, основанных на изучении искусственной радиоактивности, выделяют две основные группы: 1) гамма-методы, в которых регистрируют излучение, возникающее в процессе облучения пород источником квантов; 2) нейтронные методы, связанные с изучением процессов взаимодействия нейтронов с горными породами и рудами. Поисковые возможности ядерно-геофизических методов ограничиваются их малой глубинностью, которая составляет 1—2 м при регистрации естественной радиации и доли миллиметра при использовании некоторых типов искусственного излучения.

Основная область применения ядерно-геофизических методов с использованием искусственных источников излучения — определение вещественного состава и физических свойств пород и руд в условиях естественного залегания. Существенное место ядерно-геофизические методы занимают в комплексе скважинных исследований.

Общепринятые сокращенные названия геофизических методов приведены в табл. 16. Применимость различных геофизических методов при поисках основных типов медных, свинцово-цинковых и никелевых месторождений отражена в табл. 17.

Геолого-минералогические методы

Проведение наземных геолого-минералогических поисков основано на изучении ореолов и потоков механического рассеяния, в зависимости от характера которых выделяются: валунно-ледниковый, обломочный и шлиховой методы поисков.

Валунно-ледниковый метод с успехом применяется в практике поисковых работ в северных районах как на террито-

рии СССР, так и за рубежом, где коренные породы почти повсеместно перекрыты плащом ледниковых отложений, иногда достигающих мощности в многие десятки метров. При использовании валунно-ледникового метода результаты совместного анализа мест рассеяния рудных обломков и валунов-спутников, выявленных главным образом в пределах донных морен, и геологической карты позволяют выделить наиболее перспективные площади для обнаружения коренных месторождений.

Обломочный метод, иногда называемый обломочно-речным, основан на изучении аллювиальных, делювиальных и элювиальных ореолов механического рассеяния. Сущность его заключается в обнаружении в отложениях обломков руды или сопутствующих минералов-индикаторов и систематическом прослеживании их вплоть до месторождения в коренном залегании.

Шлиховой метод заключается в систематическом шлиховом опробовании рыхлых отложений, изучении состава шлихов, прослеживании и оконтуривании шлиховых ореолов рассеяния и выявлении по ним коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых.

В последние годы в ряде районов Советского Союза на стадии общих и детальных поисков используется разработанный В. Ф. Гуреевым шлиховой минералого-геохимический метод, являющийся разновидностью шлихо-геохимической съемки. Метод базируется на изучении выделяемых из шлихов пиритов и псевдоморфоз лимонита по пиритам с анализом их кристаллографических форм и определением содержаний элементов-примесей. Метод может применяться при поисках коренных месторождений благородных, цветных и редких металлов, сопровождающихся ореолами пиритизации. Особенно широкое применение метод находит при поисках месторождений, не выходящих на поверхность, а также при поисках месторождений, не сопровождающихся шлиховыми ореолами рудных минералов, устойчивых в зоне окисления (например, сульфидных прожилково-вкрапленных руд с тонкодисперсным золотом).

Геохимические методы

Геохимические методы поисков позволяют обнаруживать полезные ископаемые по невидимым признакам с помощью современных средств экспрессного анализа химического состава природных образований. Научной основой методов служит учение о миграции, рассеянии и концентрации химических элементов в земной коре, заложенное В. И. Вернадским и А. Е. Ферсманом, а также учение о рудных месторождениях, охватывающее комплекс факторов, определяющих специфику формирования месторождений в конкретных геологических условиях.

При оценке особенностей распределения химических элементов в пределах земной коры, отдельного региона, массива или комп-

лекса различают соответственно глобальные, региональные и локальные параметры распределения химических элементов.

Глобальные параметры распределения химических элементов характеризуют статистические закономерности распределения отдельных химических элементов в различных типах пород для земной коры в целом. В этом случае оценка среднего арифметического содержания химических элементов соответствует его кларку для данного типа пород литосферы (табл. 18). Кларк, согласно А. Е. Ферсману, представляет собой как бы норму распространения отдельных химических элементов в данной геосфере, всякое отклонение от которой обусловлено их миграцией.

Региональные параметры распределения химических элементов, определенные для различных геохимических провинций, в одних случаях могут быть сходны с глобальными параметрами, в других — отличаться достаточно резко, вследствие чего в пределах земной коры могут быть выделены геохимические провинции с аномальными существенно повышенными (или пониженными) средними содержаниями одного или нескольких химических элементов или же с существенно отличной дисперсией их распределения.

Локальные параметры характеризуют особенности распределения элементов в ограниченных по площади геологических образованиях — интрузивных массивах или комплексах, эффузивных сериях, свитах метаморфических или осадочных пород.

Особенности распределения химических элементов в горных породах, не затронутых какими-либо рудообразующими процессами, а также в рыхлых отложениях, водах и растениях, на химический состав которых не влияют эндогенные или экзогенные рудные концентрации, определяют геохимический фон (местное нормальное поле) — понятие, широко применяемое в практике геохимических поисков. Как правило, местный геохимический фон отличается от кларкового не более, чем в несколько раз.

В результате различных геологических процессов эндогенного или экзогенного характера, сопровождающихся привносом одних и выносом других химических элементов, в горных породах, рыхлых отложениях и почвах могут возникать локальные участки аномальных по сравнению с геохимическим фоном содержаний химических элементов — так называемые литогеохимические аномалии.

Локальные участки аномальных содержаний химических элементов или иных компонентов в подземных и поверхностных водах называются гидрохимическими аномалиями.

Наличие аномально повышенных содержаний химических элементов в породах, почвах и водах определяет появление аномальных содержаний химических элементов в растениях на этой площади. В результате образуются биогеохимические аномалии, в контурах которых все растения или только отдельные их виды содержат повышенные концентрации некоторых элементов.

Таблица 18

Распространенность элементов в горных породах в %. По А. П. Виноградову

Элемент	Литосфера в среднем*	Породы				
		ультраосновные (дуниты и др.)	основные (базальты, габбро и др.)	средние (диориты, андезиты)	кислые (граниты, гранодиориты)	осадочные (глины и сланцы)
H	—	—	—	—	—	—
He	—	—	—	—	—	—
Li	$3{,}2\cdot10^{-3}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$4{,}0\cdot10^{-3}$	$6{,}0\cdot10^{-3}$
Be	$3{,}8\cdot10^{-4}$	$2{,}1\cdot10^{-5}$	$4{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}8\cdot10^{-4}$	$5{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}8\cdot10^{-4}$
B	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$5{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$
C	$2{,}3\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$3{,}0\cdot10^{-2}$	1,0
N	$1{,}9\cdot10^{-3}$	$6{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$2{,}2\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$6{,}0\cdot10^{-2}$
O	42,0	42,5	43,5	46,0	48,7	52,8
F	$6{,}6\cdot10^{-2}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$3{,}7\cdot10^{-2}$	$5{,}0\cdot10^{-2}$	$8{,}0\cdot10^{-2}$	$5{,}0\cdot10^{-2}$
Ne	—	—	—	—	—	—
Na	2,5	$5{,}7\cdot10^{-1}$	1,97	3,0	2,77	0,66
Mg	1,87	25,9	4,5	2,18	0,56	1,34
Al	8,05	0,45	8,76	8,85	7,7	10,45
Si	29,5	19,0	24,0	26,0	32,5	23,8
P	$9{,}3\cdot10^{-2}$	$1{,}7\cdot10^{-2}$	$1{,}4\cdot10^{-1}$	$1{,}6\cdot10^{-1}$	$7{,}0\cdot10^{-2}$	$7{,}7\cdot10^{-2}$
S	$4{,}7\cdot10^{-2}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$3{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$4{,}0\cdot10^{-2}$	$3{,}0\cdot10^{-1}$
Cl	$1{,}7\cdot10^{-2}$	$5{,}0\cdot10^{-3}$	$5{,}0\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}4\cdot10^{-2}$	$1{,}6\cdot10^{-2}$
Ar	—	—	—	—	—	—
K	2,5	$3{,}0\cdot10^{-2}$	$8{,}3\cdot10^{-1}$	2,3	3,34	2,28
Ca	2,96	0,7	6,72	4,65	1,58	2,53
Sc	$1{,}0\cdot10^{-3}$	$5{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}4\cdot10^{-3}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-3}$
Ti	0,85	$3{,}0\cdot10^{-2}$	0,9	0,8	0,23	0,45
V	$9{,}0\cdot10^{-3}$	$4{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$4{,}0\cdot10^{-3}$	$1{,}3\cdot10^{-2}$
Cr	$8{,}3\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-1}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$5{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$
Mn	$1{,}0\cdot10^{-1}$	$1{,}5\cdot10^{-1}$	$2{,}0\cdot10^{-1}$	$1{,}2\cdot10^{-1}$	$6{,}0\cdot10^{-2}$	$6{,}7\cdot10^{-2}$
Fe	4,64	9,85	8,56	5,85	2,7	3,33
Co	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$4{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-3}$	$5{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$
Ni	$5{,}8\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-1}$	$1{,}6\cdot10^{-2}$	$5{,}5\cdot10^{-3}$	$8{,}0\cdot10^{-4}$	$9{,}5\cdot10^{-3}$
Cu	$4{,}7\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$3{,}5\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$5{,}7\cdot10^{-3}$
Zn	$8{,}3\cdot10^{-3}$	$3{,}0\cdot10^{-3}$	$1{,}3\cdot10^{-2}$	$7{,}2\cdot10^{-3}$	$6{,}0\cdot10^{-3}$	$8{,}0\cdot10^{-3}$
Ca	$1{,}9\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$3{,}0\cdot10^{-3}$
Ce	$1{,}4\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}4\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$
As	$1{,}7\cdot10^{-4}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}4\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$6{,}6\cdot10^{-4}$
Se	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$6{,}0\cdot10^{-5}$
Br	$2{,}1\cdot10^{-4}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}0\cdot10^{-4}$	$4{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}7\cdot10^{-4}$	$6{,}0\cdot10^{-4}$
Kr	—	—	—	—	—	—
Rb	$1{,}5\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$	$4{,}5\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$
Sr	$3{,}4\cdot10^{-2}$	$1{,}0\cdot10^{-3}$	$4{,}4\cdot10^{-2}$	$8{,}0\cdot10^{-2}$	$3{,}0\cdot10^{-2}$	$4{,}5\cdot10^{-2}$
Y	$2{,}9\cdot10^{-3}$	—	$2{,}0\cdot10^{-3}$	—	$3{,}4\cdot10^{-3}$	$3{,}0\cdot10^{-3}$
Zr	$1{,}7\cdot10^{-2}$	$3{,}0\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}6\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$	$2{,}0\cdot10^{-2}$
Nb	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$
Mo	$1{,}1\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}4\cdot10^{-4}$	$9{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$
Tc	—	—	—	—	—	—
Ru	—	—	—	—	—	—
Rh	—	—	—	—	—	—
Pd	$1{,}3\cdot10^{-6}$	$1{,}2\cdot10^{-5}$	$1{,}9\cdot10^{-6}$	—	$1{,}0\cdot10^{-6}$	—
Ag	$7{,}0\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$7{,}0\cdot10^{-9}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$
Cd	$1{,}3\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}9\cdot10^{-5}$	—	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}0\cdot10^{-5}$
In	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$1{,}3\cdot10^{-6}$	$2{,}2\cdot10^{-5}$	—	$2{,}6\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$

Элемент	Литосфера в среднем*	Породы				
		ультраосновные (дуниты и др.)	основные (базальты, габбро и др.)	средние, (диориты, андезиты)	кислые (граниты-гранодиориты)	осадочные (глины и сланцы)
Sn	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	—	$3{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-3}$
Sb	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$2{,}6\cdot10^{-5}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$
Te	$1{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$
J	$4{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}0\cdot10^{-5}$	$4{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$
Xe	—	—	—	—	—	—
Cs	$3{,}7\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	—	$5{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}2\cdot10^{-3}$
Ba	$6{,}5\cdot10^{-2}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$3{,}0\cdot10^{-2}$	$6{,}5\cdot10^{-2}$	$8{,}3\cdot10^{-2}$	$8{,}0\cdot10^{-2}$
La	$2{,}9\cdot10^{-3}$	—	$2{,}7\cdot10^{-3}$	—	$6{,}0\cdot10^{-3}$	$4{,}0\cdot10^{-3}$
Ce	$7{,}0\cdot10^{-3}$	—	$4{,}5\cdot10^{-4}$	—	$1{,}0\cdot10^{-2}$	$5{,}0\cdot10^{-3}$
Pr	$9{,}0\cdot10^{-4}$	—	$4{,}0\cdot10^{-4}$	—	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$5{,}0\cdot10^{-4}$
Nd	$3{,}7\cdot10^{-3}$	—	$2{,}0\cdot10^{-3}$	—	$4{,}6\cdot10^{-3}$	$2{,}3\cdot10^{-3}$
Pm	—	—	—	—	—	—
Sm	$8{,}0\cdot10^{-4}$	—	$5{,}0\cdot10^{-4}$	—	$9{,}0\cdot10^{-4}$	$6{,}5\cdot10^{-4}$
Eu	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	—	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$
Cd	$8{,}0\cdot10^{-4}$	—	$5{,}0\cdot10^{-4}$	—	$9{,}0\cdot10^{-4}$	$6{,}5\cdot10^{-4}$
Tb	$4{,}3\cdot10^{-4}$	—	$8{,}0\cdot10^{-5}$	—	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$9{,}0\cdot10^{-5}$
Dy	$5{,}0\cdot10^{-4}$	$5{,}0\cdot10^{-6}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$	—	$6{,}7\cdot10^{-4}$	$4{,}5\cdot10^{-4}$
Ho	$1{,}7\cdot10^{-4}$	—	$1{,}0\cdot10^{-4}$	—	$2{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$
Er	$3{,}3\cdot10^{-4}$	—	$2{,}0\cdot10^{-4}$	—	$4{,}0\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$
Tu	$2{,}7\cdot10^{-5}$	—	$2{,}0\cdot10^{-5}$	—	$3{,}0\cdot10^{-5}$	$2{,}5\cdot10^{-5}$
Yb	$3{,}3\cdot10^{-5}$	—	$2{,}0\cdot10^{-4}$	—	$4{,}0\cdot10^{-4}$	$3{,}0\cdot10^{-4}$
Lu	$8{,}0\cdot10^{-5}$	—	$6{,}0\cdot10^{-5}$	—	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$7{,}0\cdot10^{-5}$
Hf	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$6{,}0\cdot10^{-4}$
Ta	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-6}$	$4{,}8\cdot10^{-5}$	$7{,}0\cdot10^{-5}$	$3{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}5\cdot10^{-4}$
W	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$2{,}0\cdot10^{-4}$
Re	$7{,}0\cdot10^{-8}$	—	$7{,}1\cdot10^{-8}$	—	$6{,}7\cdot10^{-8}$	—
Os	—	—	—	—	—	—
Ir	—	—	—	—	$6{,}3\cdot10^{-7}$	—
Pt	—	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	—	—	—
Au	$4{,}3\cdot10^{-7}$	$5{,}0\cdot10^{-7}$	$4{,}0\cdot10^{-7}$	—	$4{,}5\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-7}$
Hg	$8{,}3\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$9{,}0\cdot10^{-6}$	—	$8{,}0\cdot10^{-6}$	$4{,}0\cdot10^{-5}$
Tl	$1{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$	$1{,}0\cdot10^{-4}$
Pb	$1{,}6\cdot10^{-3}$	$1{,}0\cdot10^{-5}$	$8{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$	$2{,}0\cdot10^{-3}$
Bi	$9{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-7}$	$7{,}0\cdot10^{-7}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$	$1{,}0\cdot10^{-6}$
Po	—	—	—	—	—	—
At	—	—	—	—	—	—
Rn	—	—	—	—	—	—
Fr	—	—	—	—	—	—
Ra	—	—	—	—	—	—
Ac	—	—	—	—	—	—
Th	$1{,}3\cdot10^{-3}$	$5{,}0\cdot10^{-7}$	$3{,}0\cdot10^{-4}$	$7{,}0\cdot10^{-4}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$1{,}1\cdot10^{-3}$
Pa	—	—	—	—	—	—
U	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}0\cdot10^{-7}$	$5{,}0\cdot10^{-5}$	$1{,}8\cdot10^{-8}$	$3{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}2\cdot10^{-4}$
Np	—	—	—	—	—	—
Pu	—	—	—	—	—	—

* Две части кислых и одна часть основных пород.

Геохимические методы поисков в зависимости от характера опробуемого материала и конкретных задач поисковых работ разделяются на литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические и атмохимические.

Литогеохимические методы поисков основаны на выявлении первичных геохимических ореолов рассеяния месторождений, а также их вторичных ореолов и потоков рассеяния.

Первичными геохимическими ореолами рассеяния называются зоны рудовмещающих пород, окружающие месторождение и обогащенные в процессе рудообразования рядом химических элементов. По времени образования первичные геохимические ореолы могут быть дорудными, синхронными с процессами рудообразования и послерудными.

Анализ особенностей распределения химических элементов в пределах первичных ореолов эндогенных рудных месторождений позволяет выделить две главные группы химических элементов-индикаторов оруденения, которые могут быть использованы при литогеохимических поисках.

1. Рудообразующие элементы-спутники, привносящиеся во вмещающие породы гидротермальными растворами на различных этапах рудообразования. Наиболее надежными индикаторами в данном случае являются элементы, образующие концентрации в данном рудном теле.

2. Преимущественно литофильные (в меньшей степени сидерофильные) элементы, перераспределяющиеся при метасоматических изменениях рудовмещающих пород с образованием характерной зональности. Элементы этой группы могут не концентрироваться в рудах. Как правило, особенности их распределения могут служить только косвенными признаками, характеризующими уровень эрозионного среза месторождения.

Состав химических элементов в первичных ореолах тесно связан с генезисом и составом рудных концентраций, что позволяет по особенностям парагенезиса элементов в первичном ореоле судить о типе скрытого месторождения. Содержание химических элементов в пределах ореола в общем случае уменьшается в направлении от рудного тела, постепенно приближаясь к уровню местного геохимического фона.

Характерной особенностью первичных ореолов является горизонтальная и вертикальная зональность их строения, выражающаяся в закономерном изменении концентрации некоторых химических элементов в надрудных, околорудных и подрудных частях ореолов. Геохимическая зональность первичных ореолов особенно четко проявляется в изменении отношения содержаний легкоподвижных и малоподвижных элементов-индикаторов оруденения друг к другу и к основному рудному компоненту в различных частях ореола. Рассматриваемая зональность позволяет отличать обнажающиеся на поверхности надрудные срезы месторождения от подрудных.

Зональность эндогенных геохимических ореолов обусловлена

неравномерным, дифференцированным распределением в ореолах различных элементов, что вызвано действием внутренних (физико-химические свойства элементов и их соединений) и внешних (концентрации элементов в растворах, температура, давление, кислотность — щелочность и т. д.) факторов миграции химических элементов. В общем виде зональность ореолов проявляется в пространственной смене зон (полей) ассоциаций одних элементов другими в пределах общего контура ореола. Различие ассоциаций элементов и соотношений их концентраций определяет геохимический облик различных зон ореолов.

Концентрацию элементов в ореолах, меняющуюся от периферических его частей к центральным, целесообразно выражать через интегральный показатель интенсивности, учитывающий суммарное увеличение концентраций основных рудообразующих элементов по сравнению с фоном:

$$K_a^0 = K_a^{Cu} + K_a^{Pb} + K_a^{Zn} + \ldots$$

Надежным количественным показателем асимметричной зональности ореолов, позволяющим различать их фронтальные, центральные и тыловые зоны, является коэффициент зональности ($K_з$) в аддитивном или мультипликативном варианте. Использование величин $K_з$ (особенно в сочетании с геолого-структурным анализом и с предварительной интерпретацией минерально-геохимического типа прогнозируемого оруденения) позволяет определить положение прогнозируемого оруденения относительно выявленного среза ореола (уровень эрозионного среза оруденения) и установить пространственное положение и элементы залегания рудных зон (положение внутренних зон, падение, склонение рудных зон и т. д.).

На некоторых месторождениях первичные ореолы часто незначительны как по размерам, так и по интенсивности. Для выявления подобных ореолов достаточно эффективным оказывается способ перемножения содержаний элементов-индикаторов и выделения мультипликативных ореолов, которые по сравнению с моноэлементными более значительны по размерам и контрастности вследствие направленного усиления коррелирующихся полезных сигналов. Кроме того, влияние случайных ошибок при этом сводится к минимуму. Мультипликативные ореолы, как правило, обнаруживают более тесную связь с геолого-структурными особенностями месторождений полезных ископаемых, облегчая и повышая надежность интерпретации аномалий [11].

Вторичным геохимическим ореолом рассеяния месторождения называется локальная зона аномально повышенных содержаний химических элементов, характерных для данного месторождения, в перекрывающих его рыхлых отложениях и почвах, образовавшихся при гипергенном разрушении этого месторождения. Содержание химических элементов во вторичных литохимических ореолах рассеяния обычно характеризуется промежу-

точными значениями между высокими содержаниями, свойственными месторождению, и низкими, отвечающими местному геохимическому фону.

Литогеохимическим потоком рассеяния месторождения называется область повышенных содержаний химических элементов, характерных для данного месторождения, прилегающая к вторичному ореолу рассеяния и развивающаяся в горных породах на путях твердого и водного стоков. В направлении стока содержания химических элементов затухают, постепенно приближаясь к значениям, соответствующим местному геохимическому фону.

Содержание металла в потоке рассеяния в решающей степени зависит от положения рудных тел, их первичных и вторичных ореолов рассеяния в местном бассейне денудации. Месторождения, выведенные на уровень денудационного среза, в благоприятных условиях образуют литогеохимические потоки рассеяния протяженностью более километра.

Миграция элементов в зоне гипергенеза может привести к образованию промышленных месторождений, связанных с корой выветривания, зонами вторичного сульфидного обогащения и т. д.

Различия в миграционной способности элементов, а также разные количественные соотношения между элементами в составе руд и первичных ореолов определяют выбор элементов-индикаторов, по которым ведут литогеохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния.

Гидрогеохимический метод поисков месторождений рудных полезных ископаемых основан на выявлении их гидрогеохимических ореолов и потоков рассеяния. Гидрохимический ореол рассеяния представляет собой участок распространения подземных или поверхностных вод, имеющих в результате воздействия рудных тел и их ореолов измененный химический состав. Компоненты и показатели минерализации, содержание и значение которых претерпевают изменения под влиянием рудных тел, а также их первичных и вторичных ореолов, называются гидрогеохимическими поисковыми признаками. Концентрация отдельных рудных компонентов (железа, меди, цинка, хлор- и сульфат-ионов и др.) в гидрохимических аномалиях по сравнению с фоновыми значениями в водах поверхностного стока могут возрастать на несколько порядков.

Биогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых основаны на использовании зависимости химического состава, видовых ассоциаций и морфологии организмов от химического состава среды обитания. Данные методы разделяются на собственно биогеохимические, основанные на анализе химического состава организмов и продуктов их жизнедеятельности (растений, торфа, растительного опада и т. д.), и биологические, использующие приуроченность специфических организмов и их сообществ к участкам среды с определенными особенностями химического состава. В настоящее время практическое значение имеет только геоботанический метод, использующий в качестве объектов опро-

бования наземные растения и их остатки (торф, лесную подстилку и гумусовый горизонт почв) [5, 11].

Резко проявленные изменения химического состава почв и почвообразующих пород (в частности, появление высоких концентраций рудных элементов) могут вызвать местные изменения биологических особенностей растений, выражающиеся в смене видового состава растительных ассоциаций и появлении специфических растений, являющихся индикаторами на определенные химические элементы; в появлении необычных форм растений, изменении темпов их развития, угнетении растений или, наоборот, их повышенном росте и т. д.

Атмохимические методы поисков основаны на изучении распределения газовых компонентов в подземной и приземной атмосфере с целью выявления газовых ореолов рассеяния месторождений полезных ископаемых. Известно три группы газов, формирующих атмохимические ореолы.

Первая группа — первичные газы — компоненты процессов рудообразования. Для гидротермальных процессов это углекислый газ, аргон, сероводород, метан, водород, летучие соединения галогенов и ряд других элементов. К этой же группе относятся газообразные органические соединения, возникновение которых происходит при термометаморфизме органического вещества осадочных пород в процессе рудообразования.

Вторую группу составляют газы, поступающие с глубины по зонам разрывных нарушений, в которых могут быть локализованы рудные тела. Эти газовые компоненты (углекислый газ, гелий, водород, углеводороды, аргон, пары ртути) являются продуктами дегазации мантии, а также химических и ядерных реакций, протекающих в земных недрах. Образование некоторых газовых компонентов (радон, торон, актинон) обусловлено радиоактивным распадом [5, 11].

К третьей группе относятся газовые компоненты, образующиеся в результате процессов, протекающих в зоне окисления.

Важное практическое значение при поисках погребенных месторождений имеет большая проникающая способность газовых компонентов, мигрирующих на значительные расстояния от рудных тел через перекрывающие толщи молодых осадков.

Атмохимические поиски в целом являются косвенными, однако тщательный анализ физико-химических условий образования газовых ореолов рассеяния часто дает достаточные основания для уверенной геологической интерпретации выявленных аномалий и установления их связи с месторождениями.

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ

Медно-порфировые месторождения

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

В практике геолого-поисковых и горно-промышленных работ к месторождениям медно-порфирового типа относят крупные скопления небогатых медных и молибденово-медных прожилково-вкрапленных руд, ассоциирующих с интрузивными породами. Такое содержание термина «медно-порфировые месторождения» определяет возможность объединения объектов, различающихся по геологическим обстановкам формирования и требующих использования различных критериев прогнозирования и поисковых признаков. Эти различия выражаются в специфике геотектонической и палеотектонической позиции, состава рудоносных интрузий, минералого-геохимических характеристик руд и комплекса околорудных изменений, что в сумме составляет геолого-генетические основы прогноза и поисков.

Применительно к месторождениям медно-порфирового типа установлены следующие соотношения прогнозно-металлогенических и структурно-формационных единиц:

металлогеническая провинция эквивалентна вулкано-плутоническому поясу;

металлогеническая зона соответствует площади развития продуктивных в отношении медно-порфирового оруденения вулкано-плутонических ассоциаций;

металлогеническая подзона эквивалентна ареалу продуктивных (рудоносных) плутоногенных формаций;

потенциальные рудные районы и рудные узлы объединяют группы медно-порфировых рудно-магматических систем;

потенциальные рудные поля охватывают частные медно-порфировые системы;

поисковые участки оконтуриваются как внутренние зоны медно-порфировых систем, в пределах которых может быть обнаружено несколько рудных тел, составляющих месторождение, либо одно значительное по масштабам рудное тело.

По ведущему профилю магматизма, определяемому палеотектонической позицией и влияющему на металлогеническую специализацию, вулкано-плутонические пояса (ВПП) разделяются на базальтоидные и андезитоидные.

Базальтоидные ВПП входят в состав эвгеосинклиналей и образуют барьерные зоны островодужных геоструктур, заложенные на базитовом основании. Барьерные зоны, эквивалентные базальтоидным ВПП, закономерно располагаются между фронтальными прогибами, примыкающими к желобам, и внутренним или тыльным зонам эвгеосинклинального (островодужного) пространства.

Андезитоидные ВПП выступают в качестве обязательного элемента окраинно-континентальных и внутриконтинентальных геосинклинально-складчатых систем.

В окраинно-континентальных системах восточно-азиатского типа, отделенных от океанических геоструктур желобами, устанавливается следующий латеральный ряд элементов: эвгеосинклинали, достигающие островодужных стадий развития — срединный массив (может отсутствовать) — тыловой прогиб — краевой ВПП — внешние (континентальные) прогибы.

Внутриконтинентальные ВПП также обнаруживают сопряженность с геосинклинальными прогибами, как с первичными, так и с вторичными при симметричном (либо асимметричном) расположении относительно них. Обычно на периферии геосинклинального рва на завершающих стадиях его развития располагаются вторичные геосинклинали, которые предшествуют формированию ВПП. Последние еще больше удалены от первичных геосинклиналей и граничат с геосинклинальными участками по серии прогибов с терригенным осадконакоплением.

По времени заложения андезитоидные пояса близки к средним стадиям развития сопряженных геосинклиналей и характеризуются орогенно-активационным режимом развития. Во всех обстановках андезитоидные ВПП формируются на коре континентального типа на основании разного состава и времени консолидации.

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 мезозойско-кайнозойские — к известково-щелочным андезитовым и андезит-риодацитовым. Для начальных и средних стадий развития поясов характерны натриевая андезит-гранодиоритовая и калиевая риолит-гранитная вулкано-плутонические ассоциации (ВПА).

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

Различия в палеотектонической позиции ВПП, имеющие своими следствиями петрологическую и металлогеническую специализацию, позволяют выделить два главных типа провинций медно-порфирового оруденения. Первый эквивалентен базальтоидным, а второй андезитоидным ВПП.

В пределах андезитоидных ВПП в зависимости от состава субстрата выделяются три типа зон: эпикратонные, эпимиогеосинклинальные и эпиэвгеосинклинальные. Зоны первого типа отвечают тем частям поясов, которые сформированы на краевых и срединных массивах, на флангах кратонов и их склонах. Второй тип

зон эквивалентен частям поясов, развившимся на миогеосинклинальных комплексах. Зоны третьего типа — участки поясов, сформированные на эвгеосинклинальном субстрате, который может перекрываться миогеосинклинальными образованиями.

Базальтоидные ВПП на всем протяжении обычно обладают довольно однородным строением. Рудоносные части таких поясов выделяются в качестве эвгеосинклинальных или островодужных зон развития медно-порфирового оруденения.

Во всех типах обстановок (зон) медно-порфирового оруденения продукты вулканизма и плутонизма обнаруживают устойчивые пространственно-временные связи, отражающиеся в постоянно повторяющихся ВПА. Различия в составах ВПА и входящих в них плутоногенных формаций, определяемые типом обстановок (зон), наиболее контрастно выражаются в концентрациях и соотношениях калия и натрия.

В андезитоидных поясах вулканогенные формации, предшествующие рудоносным плутоногенным формациям, могут налегать на породы субстрата либо непосредственно, либо через молассоидные образования. В некоторых провинциях рудоносным ВПА предшествуют вторично геосинклинальные непрерывные вулканогенные формации и завершающие их интрузии габбро-тоналитовой формации.

Продуктивные ассоциации, как правило, перекрываются игнимбритовыми и более поздними трахитоидными и трахитовыми вулканогенными формациями, сопровождающимися субщелочными, щелочными и аляскитовыми интрузивными формациями.

В базальтоидных поясах рудоносные ВПА появляются после недифференцированной, контрастной и непрерывной вулканогенных формаций эвгеосинклиналей и предшествуют накоплению вулканогенных молассоидов. Латеральная миграция эвгеосинклинального режима во времени определяет возможность неоднократного появления рудоносных ассоциаций в разных частях ортогеосинклинального пространства.

Медно-порфировое оруденение находится в тесных связях с определенными составляющими плутоногенных формаций, петрологические и петрохимические характеристики которых находятся в отчетливо выраженной зависимости от типа обстановок (зон).

В зонах эпикратонного типа интрузивные породы рудоносных формаций принадлежат гомодромному ряду диорит-гранодиорит-гранит. Рудоносные формации в зонах эпимиогеосинклинального типа характеризуются гомодромным рядом (диорит-монцодиорит-монцонит-кварцевый монцонит), составляющие которого обладают отчетливо выраженным натриево-калиевым профилем. В зонах эпиэвгеосинклинального типа рудоносные формации обычно представлены рядом пород — диорит-кварцевый диорит-гранодиорит — с ведущей ролью калиево-натриевых и натриевых разностей. Для зон эвгеосинклинального (островодужного) типа характерны рудоносные плутоногенные формации с ярко выраженной натриевой специализацией при принадлежности пород к ряду габбро-диорит-

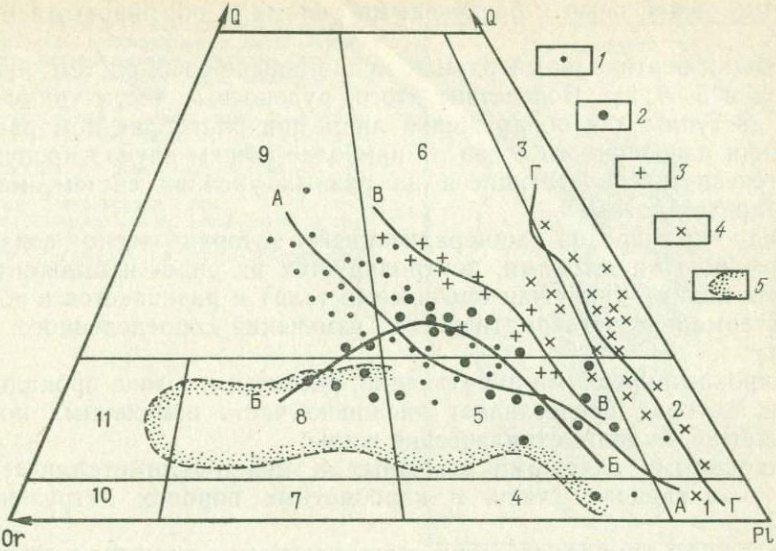


Рис. 6. Составы пород рудоносных плутоногенных формаций из зон разного типа. По А. И. Кривцову и С. Т. Агеевой:

1 — эпикратонных; *2* — эпимиогеосинклинальных; *3* — эпиэвгеосинклинальных; *4* — эвгеосинклинальных (базальтоидные пояса); *5* — поля составов пород штока Бингхем, по С. Кеслеру.

Тренды составов вулкано-плутонических ассоциаций: А—А — эпикратонных; Б—Б — эпимиогеосинклинальных; В—В — эпиэвгеосинклинальных; Г—Г — эвгеосинклинальных. Цифрами обозначены поля типовых составов: 1 — габбро; 2 — кварцевые диориты; 3 — тоналиты, плагиограниты; 4 — монцодиориты; 5 — кварцевые монцодиориты; 6 — гранодиориты; 7 — монциниты; 8 — кварцевые монцониты; 9 — граниты; 10 — сиениты; 11 — кварцевые сиениты

кварцевый диорит-тоналит. В некоторых районах породы, завершающие такие ряды, диагностируются как плагиограниты.

Выделенные рудоносные формации отчетливо разделяются на классификационной диаграмме, где они располагаются в виде четырех различных рядов (рис. 6).

Потенциальные рудные районы выделяются в полях развития продуктивных плутоногенных формаций как группы медно-порфировых систем по ведущим признакам последних.

Модель медно-порфировой системы включает следующие главные элементы: породы основания (субстрата) ВПП; формации нижних частей разреза ВПП; фанеритовые интрузивы главных фаз, размещающиеся либо в субстрате, либо в породах нижних частей разреза ВПП и занимающие позицию «интрузивов под вулканами»; порфировые 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 вулкано-плутонических ассоциаций (в случаях нахождения порфировых интрузивов и рудной минерализации в подводящих каналах стратовулканов); кратерные и жерловые зоны стратовулканов, обла-

дающие общей осью с брекчиевыми телами и порфировыми штоками.

Общий вертикальный размах медно-порфировых систем оценивается в 5—7 км. Вследствие этого, рудоносные части таких систем доступны для обнаружения лишь при благоприятном расположении аэрозионного среза. В наиболее общем случае продукты рудогенеза, располагающиеся на разных уровнях систем, могут быть представлены:

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

широкими ореолами пиритизации, развитыми в зоне пропилитизации, которая представляет внешнюю часть измененных пород 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.

Характер выражения верхних частей систем и их металлоносность нельзя считать до конца определенными. В последние годы появляются данные о возможности нахождения 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 оруденением медно-порфирового типа.

В качестве потенциальных рудных полей выделяются перспективные медно-порфировые системы. Степень перспективности определяется в первую очередь положением эрозионного среза. Наибольший интерес представляют системы, уровень эрозии которых обеспечивает не только выведение на дневную поверхность частей, но и сохранность основного объема минерализации.

Промышленная медно-порфировая минерализация концентрируется во внутренних зонах медно-порфировых систем. Подобные внутренние зоны при прогнозе выделяются как поисковые участки. Значительные масштабы медно-порфировых систем определяют возможность нахождения в одной и той же системе нескольких месторождений.

Медно-порфировые системы на благоприятных для прогноза и поисков уровнях среза характеризуются следующими элементами (рис. 7): интрузивная рама; порфировые интрузивы; брекчиевые тела; зоны гидротермально-метасоматических изменений; зоны рудной минерализации и промышленные рудные тела; ореолы пиритизации; сопряженная рудная минерализация.

Статистическая модель промышленного молибден-медно-порфирового месторождения Канадской Кордильеры, по данным А. Драммонда и С. Гудвина, учитывающим модель Дж. Джеф-

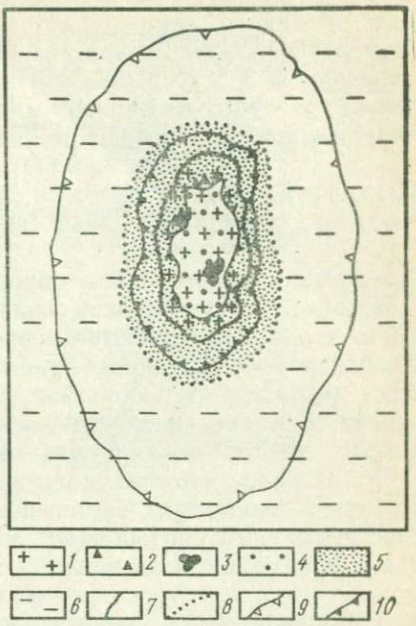


Рис. 7. Модель горизонтального сечения значительно эродированного медно-порфирового месторождения (размеры зон соответствуют модели Д. Ловелла и Д. Джилберта, 1979):

1 — рудоносный порфировый интрузив; *2* — эксплозивные брекчии; *3* — кварцевое «ядро»; *4* — зона калишпатизации и биотитизации; *5* — зона окварцевания и серицитизации; *6* — пропилитизированные породы интрузивной рамы; *7—10* — границы (*7* — рудоносной порфировой интрузии; *8* — зоны окварцевания и серицитизации; *9* — ореола интенсивной пиритизации; *10* — промышленных руд)

фроя и Дж. Уиннэла, имеет следующие характеристики: площадь интрузивного массива — $136 \cdot 10^4$ м^2; площадь порфирового тела — $25 \cdot 10^4$ м^2; ширина зоны контактового метаморфизма — 400 м; площадь развития гидротермальных изменений — $196 \cdot 10^4$ м^2; площадь пиритового ореола — $167 \cdot 10^4$ м^2; площадь зоны калишпатизации и биотитизации $58 \cdot 10^4$ м^2; площадь рудного тела на выходе — $50 \cdot 10^4$ м^2; длина рудного тела — около 1000 м; ширина рудного тела — 530 м; вертикальный размах промышленных руд — около 200 м; доля руд в интрузивах — 54 %; доля руд в породах рамы — 46 %; среднее содержание меди — 0,67 %, молибдена — 0,015 %.

Важными составляющими медно-порфировых систем и месторождений служат брекчиевые тела, которые имеют существенное поисковое значение. Однако в практике поисков медно-порфировых месторождений необходимо учитывать, что брекчиевые тела появляются в специфических обстановках и на определенных уровнях медно-порфировых систем. При значительных глубинах эрозионного среза брекчиевые тела могут отсутствовать или пользоваться локальным распространением среди порфировых интрузивов, несущих основной объем рудной минерализации.

Более важные при поисках продукты гидротермально-метасоматических изменений рудоносных порфировых интрузивов и пород обрамления характеризуются зональным размещением и принадлежат к ведущим поисковым признакам медно-порфировых месторождений.

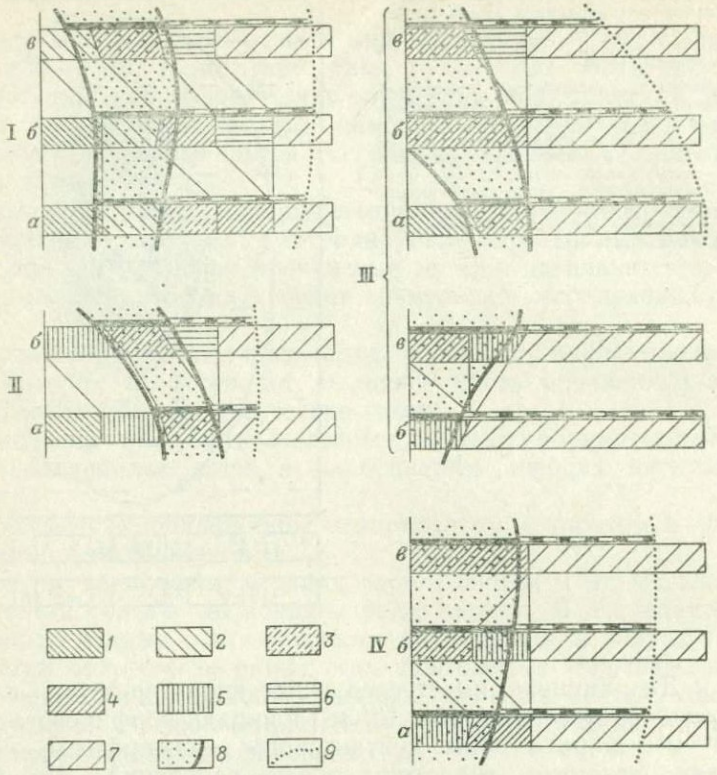


Рис. 8. Варианты рудно-метасоматической зональности месторождений медно-порфирового типа.

Районы: I — эпикратонные; II — эпимиогеосинклинальные; III — эпиэвгеосинклинальные; IV — эвгеосинклинальные. Уровни эрозионного среза: *а* — глубокие; *б* — средние; *в* — умеренные. Зоны: *1* — кварцевая; *2* — калишпатовая; *3* — грейзеновая; *4* — кварц-серицитовая; *5* — биотитовая; *6* — аргиллизитовая; *7* — пропилитовая; *8* — рудные тела; *9* — границы ореолов пиритизации

Характер выражения метасоматической зональности и особенно состав зон обнаруживают отчетливую зависимость от геотектонической позиции месторождений — типов металлогенических зон (рис. 8). Наиболее ярко эта зависимость проявляется в широком развитии метасоматического калиевого полевого шпата и биотита во внутренних зонах месторождений эпикратонных и эпимиогеосинклинальных зон, где рудоносные плутоногенные формации обладают калиевым и натриево-калиевым профилем.

На месторождениях зон эпиэвгеосинклинального и эвгеосинклинального типов с калиево-натриевым и натриевым профилем рудоносных формаций проявления калишпатизации во внутренних зонах могут отсутствовать, а интенсивная биотитизация иногда развивается во внешних, экзоконтактовых зонах.

Распределение продуктов гидротермально-метасоматических изменений на медно-порфировых 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 них.

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

Турмалин пользуется достаточно широким распространением практически во всех обстановках нахождения месторождений, но наиболее характерен для эпимиогеосинклинальных зон. В таких зонах турмалин интенсивно развивается в брекчиевых телах, которые нередко называют турмалиновыми брекчиями или турмалиновыми трубками. Кроме того, турмалин вместе с кварцем выполняет жилы на периферии порфировых штоков, образует гнезда и вкрапленность в их экзоконтактовых зонах.

Известные ситуации развития турмалина позволяют считать, что преимущественные области его распространения отвечают внешним (по латерали и вертикали), включая и надрудные, частям медно-порфировых месторождений.

Ангидрит установлен в калишпатовых и кварц-серицитовых зонах ряда месторождений, преимущественно на нижних горизонтах. О его распространенности во внешних зонах (в частности, в пропилитовых) достоверных данных нет. На определенных глубинах ангидрит постоянно ассоциирует с гипсом, который широко развит в верхних частях месторождений. Гипс обычно имеет 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. Цеолиты установлены на верхних горизонтах месторождений, но на некоторых объектах встречены на глубине в первые сотни метров.

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

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 %. Внутренние части ореолов располагаются в зонах аргиллизации или кварц-серицитовых изменений. Ореолы пирита обладают в плане весьма значительными размерами, 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^2 — 15; 2—6 км^2 — 26; 10 км^2—14; 10—15 км^2 — 8; 15—25 км^2 — 9; более 25 км^2 — 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 зарубежных объектах с запасами меди от 2,5 до 5,5 млн. т площади пиритовых ореолов составляют от 5 до 10 км^2. В то же время известны мелкие объекты и рудопроявления с площадью ореолов до 5 км^2.

Рудные тела. В наиболее общем случае промышленно значимая минерализация развивается между центральными (ядерными) кварцевыми, кварц-калишпатовыми и внешними пропилитовыми зонами при максимальной концентрации в кварц-серицитовой и аргиллизитовой зонах. Частные отклонения определяемые спецификой металлогенических зон, отражены на рис. 8.

При анализе положения рудных тел относительно порфировых интрузивов и сопоставлении форм месторождения достаточно отчетливо различаются две группы. В первую входят объекты, рудные тела которых обладают формами и ограничивающими поверхностями, сохраняющими подобие формам 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 рассекают их, глубоко проникая во внутренние части и обладая отчетливо выраженной дисконформностью.

Классификация конформных руд тел медно-порфировых месторождений приведена в табл. 19.

Основные рудообразующие элементы месторождений медно-порфирового типа — молибден и медь — обладают существенно различными концентрациями в месторождениях, находящихся в разных обстановках. Анализ состава рудоносных плутонов в сочетании с данными о геохимической специализации руд, выраженной через соотношения меди и молибдена, позволяет выделить четыре группы месторождений.

Месторождения зон эпикратонного типа характеризуются существенно молибденовым, реже медно-молибденовым со-

Таблица 19

Классификация конформных рудных тел медно-порфировых месторождений

Морфологические		Форма рудоносных штоков	Идеальные поверхности, ограничивающие рудные тела	Форма рудных тел		Примеры месторождений
Типы	Подтипы			при различном положении эрозионного среза	в горизонтальных сечениях на различных уровнях	
I		Изометричные в плане или слабоудлиненные порфировые штоки				
	А	с малыми и средними углами падения контактов	Разновысокие параболоиды вращения	Разновысокие вложенные друг в друга параболоиды вращения, конус, усеченный конус		Климакс, Гендерсон, Квеста, Хадсон-Бэй
	Б	с большими углами падения контактов	Разновысокие вертикальные параболоиды вращения (высота внешнего контура больше высоты внутреннего)			Бингхем, Ок-Тэди, Мамут, Юрэд, Ак-Суг, Кальмакыр

Продолжение табл. 19

Морфологические		Форма рудоносных штоков	Идеальные поверхности, ограничивающие рудные тела	Форма рудных тел		Примеры месторождений
Типы	Подтипы			при различном положении эрозионного среза	в горизонтальных сечениях на различных уровнях	
	В	субвертикальные	Цилиндрические поверхности различного диаметра	Цилиндр, полый толстостенный цилиндр	Круг, кольцо, сближенные сегменты, серповидные фигуры	Кызыл-Каин, Лайм-Крик
	Г	сужающиеся с глубиной	Опрокинутые конусы	Опрокинутый усеченный толстостенный конус		Актогай, Сорское
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	Северо-Западное Балыкты, Агарак
III		Наклоненные 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, Эндако, Цаган-Субурга

ставом руд, наиболее близким молибден-порфировым объектам в классификации В. С. Попова. 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 граммов на тонну. Месторождения практически не содержат золота и серебра. На некоторых объектах проявлена вольфрамовая минерализация.

Руды месторождений зон эпимиогеосинклинального типа обладают медно-молибденовым составом; отношение Cu : Mo меняется от 15 до 40 (средневзвешенное около 23). Содержание рения в молибденитах близко к среднему из известных определений и меняется от 200 до 800 г/т при большей распространенности повышенных концентраций. Руды слабо золотоносны и сереброносны.

В зонах эпиэвгеосинклинального типа месторождения обладают молибденово-медным составом руд. Отношение 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 эпимиогеосинклинального типа, но заметно влияет на ценность руд лишь на отдельных месторождениях.

Существенно медный и золото-медный состав руд характерен для месторождений зон эвгеосинклинального типа, где содержания молибдена не превышают 0,001 % или оказываются ниже этой величины.

Ценность медно-порфировых месторождений во многом зависит от содержания 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 200—400 г серебра.

Таким образом, месторождения медно-порфирового типа отчетливо разделяются на молибден-, медно-молибден-, молибден-медно-, золото-медно- и медно-порфировые, что коррелируется с петрологическими характеристиками рудоносного плутонизма, зависящими от типов рудных зон.

В рудах молибден-порфировых месторождений 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 развитие с максимумами в самой внешней (пропилитовой) зоне, где проявляется и 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 последовательности: W—Sn—Mo—Cu—Zn——Pb—Ag—Au.

Руды медно-молибден-порфировых месторождений образованы магнетитом, пиритом, молибденитом, халькопиритом, реже встречаются борнит, галенит и сфалерит. На некоторых объектах в сульфидных зонах известен пирротин. Общий рисунок минералогической зональности отвечает ряду: магнетит — магнетит + молибденит — молибденит + халькопирит — халькопирит — пирит. Наличие борнита несколько меняет рисунок зональности, получающей выражение магнетит — магнетит + молибденит — молибденит + борнит — борнит + халькопирит — халькопирит — пирит. Борнит также может образовывать самостоятельные зоны между молибденитовой и халькопиритовой.

Обобщенная геохимическая зональность описывается рядом: Mo—(Mo+Cu)—Cu—(Cu+Zn+Pb), имеющим, в зависимости от эродированности месторождения, различную полноту выражения.

Приведенные ряды характеризуют руды месторождений, в той или иной мере вскрытых эрозионным срезом. Вместе с тем, на скрытом месторождении Речк в ВНР в верхних частях медно-порфировой системы развита люцонит-энаргитовая минерализация. Не исключено, что внешние по вертикали зоны медно-мышьякового состава не представляют случайное явление в общей рудно-метасоматической зональности месторождений медно-порфирового типа.

В рудах молибден-медно-порфировых 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 проявляется полиметаллическая минерализация. На месторождениях с широким развитием борнита установлен несколько иной рисунок зональности: молибденит — (молибденит + борнит) — борнит — (борнит + халькопирит) — халькопирит — пирит. Геохимическая зональность описывается рядами: (W+Be)—Co—Sn——Mo(Cu+Bi)—Cu—(Zn+Pb)—Au—Ag; Mo—Cu—(Pb+Zn)—Au—Ag—As(+Sb+Ba).

Руды золото-медно-порфировых и медно-порфировых месторождений наиболее просты по составу. Обычный для таких объектов магнетит присутствует в интрузивной части медно-порфировых 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 установлен следующий ряд эле-

ментов, описывающий геохимическую зональность: (Cu+Mo) — (Pb+Zn).

На многих месторождениях медно-порфирового типа до недавнего времени основную ценность составляли руды зон вторичного сульфидного обогащения. Хотя такие руды по-прежнему определяют промышленное значение месторождений, особенно с низкими первичными содержаниями меди, роль гипогенных сульфидных руд увеличивается из года в год. Поэтому ограниченное развитие зон вторичного сульфидного обогащения не может рассматриваться при прогнозе и поисках как негативный признак.

Гипогенная зональность медно-порфировых месторождений полностью подчиняется 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 получить развития. Следующая по вертикали зона обычно образована малахитом, азуритом, хризоколлой, 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, 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. Зоны вторичного сульфидного обогащения имеют мощность от первых метров до десятков метров. В исключительных случаях их мощность превышает 100 м.

Рассмотренные выше элементы медно-порфировых систем составляют основу генетических построений. Сущность последних определяется постоянной приуроченностью месторождений к порфировым штокам и дайкам, подчиненность им форм рудных тел и рудно-метасоматической зональности. Отсюда вытекает связь формы и условий образования рудовмещающего ореола трещиноватости с процессами становления интрузивов.

Основные черты строения медно-порфировых месторождений объясняются отнесением их к саморазвивающимся рудно-магматическим системам. В становлении таких систем выделяются три взаимосвязанных процесса: трещинообразование в интрузив-надинтрузивных зонах за счет усадки магматических тел при кристаллизации; вывод в эти зоны рудообразующих флюидов из нераскристаллизованных внутренних частей интрузивов; возникновение в околоинтрузивном пространстве конвективных потоков магматогенных и активизированных метеорных вод, циркуляция которых обеспечивает вынос вещества в высокопроницаемые зоны верхов системы. Эта модель отвечает схемам рециклинга,

в которых интрузивным телам отводится роль энергетического источника, а магматогенным флюидам — роль активизатора конвективных систем.

Количественная оценка различных генетических моделей дана А. И. Кривцовым на основе статистической модели промышленного медно-порфирового месторождения, разработанной Дж. Джеффроем и Т. Уинэлом. Эта модель характеризуется следующими параметрами: суммарная площадь горизонтального сечения всех метасоматических зон — $2 \cdot 10^6$ м^2; площадь горизонтального сечения порфирового интрузива — $25 \cdot 10^4$ м^2; площадь выхода рудного тела — $50 \cdot 10^4$ м^2; вертикальный размах оруденения — $2 \cdot 10^2$ м; масса руды — $250 \cdot 10^6$ т; содержание меди в руде — 0,6 %; запасы меди в руде — $1{,}5 \cdot 10^6$ т.

Приведенные параметры отвечают месторождению, вскрытому эрозионным срезом, с частичной сохранностью всех элементов модели, в том числе и рудных тел, вследствие чего размеры последних отвечают нижнему пределу значений масштабов рудонакопления. Очевидно, это не может существенно влиять на количественные оценки генетических моделей.

В ортогенетических моделях порфировые интрузивы рассматриваются как источники вещества и транспортирующих агентов. При принятой в геологической модели площади сечения интрузива, допущении субвертикальной ориентировки его контактов и распространенности на глубину до $4 \cdot 10^3$ м, объем соответствующего расплава оценивается в $1 \cdot 10^9$ м^3 ($25 \cdot 10^4 \times 4 \cdot 10^3$). Масса расплава при плотности 2,7 т/м^3 отвечает $2{,}7 \cdot 10^9$ т.

Для оценки обеспеченности ортогенетической модели рудообразующими растворами требуется определение их массы, высвобождающейся при дефлюидизации расплава, и возможного содержания в них меди. При содержании флюидных фаз в расплаве на уровне 4 % и полном их обособлении масса растворов через расчетную массу расплава определяется в $108 \cdot 10^6$ т ($4 \cdot 10^{-2} \times 2{,}7 \cdot 10^9$), т. е. оказывается почти в два раза меньше, чем масса рудного тела (!). Очевидный дефицит массы транспортирующих агентов исключает принятие ортогенетической модели.

Конвективная генетическая модель обосновывает, как отмечалось, поступление рудообразующих компонентов из всего объема пород, охваченного циркуляцией магматогенных, метеорных и смешанных вод. Для оценки приложимости такой модели при заданном объеме (V), массе (M) и проницаемости (P) пород конвективной системы и известных запасах металла в руде (R) требуется определить интегральную массу растворов ($M_т$), участвующих в рудоотложении, и число их обменов (n). Очевидно, параметры любой конвективной системы должны удовлетворять равенству:

$$V \cdot P = M_т / n \cdot d,$$

где d — плотность растворов, принимаемая для упрощения дальнейших расчетов за единицу.

Интегральная масса растворов может быть определена через растворимость в них металла ($C_т$):

$$M_т = R/C_т.$$

После преобразований получаем

$$n = \frac{R}{V \cdot C_т \cdot P \cdot d}.$$

Для полноты характеристики конвективной системы важно определить возможную скорость циркуляции растворов (v) и дебит их потока (Д).

Скорость фильтрации определяется как $v = \frac{L \cdot n}{T}$, где L — путь фильтрации, n — число обменов вод в системе, T — длительность функционирования системы.

Путь фильтрации (L) в конвекционной ячейке в первом приближении может быть принят равным периметру половины вертикального сечения системы $L = 2(H + R)$, где H — высота цилиндрической конвективной системы, R — ее радиус.

Для расчета дебита потока площадь фильтрации в первом приближении можно считать равной горизонтальному сечению системы (S). Соответственно $Д = \frac{M_т}{S \cdot T}$ или $Д = \frac{R}{S \cdot T \cdot C_т}$.

В целом, на основе приведенных формул для месторождений с запасами металла $n \cdot 10^6$ т основные взаимосвязанные параметры оцениваются значениями следующих порядков.

Конвективная система: площадь горизонтального сечения — $n \cdot 10^6$ м^2; вертикальный размах — $n \cdot 10^3$ м; объем — $n \cdot 10^9$ м^3; проницаемость — $n \cdot 10^{-3}$; эффективный объем — $n \cdot 10^7$ м^3; масса — $n \cdot 10^{10}$ т; вынесенные концентрации меди — $n \cdot 10^{-5}$; длительность функционирования — $n \cdot 10^{12}$ с.

Растворы. Масса, единовременно находящаяся в системе, — $n \cdot 10^7$ т; число обменов в системе — $n \cdot 10^3$; растворимость меди — $n \cdot 10^{-6}$; скорость фильтрации — $n \cdot 10^{-5}$ м/с; дебит потока — $n \cdot 10^{-3}$ кг/м^2 · с.

Приведенные значения характеристик не принадлежат к числу невероятных либо нереальных, чем определяется предпочтительность конвективной либо комбинированной моделей перед ортогенетической.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Месторождения и образующие их рудные тела располагаются во внутренних частях медно-порфировых магматогенно-рудных систем, доступность которых для обнаружения зависит от степени эродированности, мощности перекрывающих отложений и расчлененности рельефа. Это определяет возможность выявления на ранних стадиях поисков различных по рудоносности частей систем:

внешних (периферических), центральных (ядерных) и внутренних (рудоносных).

Внешние части медно-порфировых систем (МПС) образованы верхними («надрудными») и фланговыми зонами. Первые присутствуют на слабо и умеренно эродированных объектах с рудными телами, не имеющими выходов на дневную поверхность. Фланговые зоны, сменяющие по латерали внутренние части системы, доступны для обнаружения на объектах со средними значениями уровня эрозионного среза.

Верхние зоны внешних частей МПС достаточно уверенно диагностируются по развитию ассоциаций люцонит-энаргитового оруденения и золото-серебряной, полиметаллической, реже серной минерализации, сопровождающейся геохимическими аномалиями Au, Ag, Cu, As, Sb. Рудная минерализация локализуется в аргиллизированных и алунитизированных вулканогенных образованиях, входящих в состав продуктивных ВПА. Из других признаков следует отметить присутствие брекчиевых тел, которые могут быть удалены от промышленных руд на сотни метров по вертикали.

Фланговые зоны уверенно опознаются по мощным пиритовым ореолам. Существенное значение имеют проявления жильной и прожилковой полиметаллической минерализации в пиритовых ореолах, а также турмалиновая и медно-турмалиновая минерализация в виде жил и цемента брекчиевых тел, которая проявляется далеко не во всех обстановках нахождения месторождений.

Для фланговых зон характерны аномалии Cu, (Mo), Pb, Zn, Au, Ag, As, (Ba, Mn). По данным И. М. Голованова, пирит фланговых зон содержит примеси Ag и Ba, а халькопирит — Ag, Sb, Mn, Zn.

На некоторых месторождениях фланговые зоны выделяются развитием скарнов и скарноидов, иногда с железными, медными и полиметаллическими рудами.

Центральные (ядерные) части медно-порфировых систем характеризуются широким развитием кварцевых (кварцевые ядра) и кварц-полевошпатовых («пегматоидных») тел различной конфигурации и размеров. Эти зоны могут вообще не нести рудной минерализации, а в случае ее развития здесь преобладают минералы Mo, W, Sn.

Внутренние части медно-порфировых систем, несущие основной объем промышленных руд, закономерно располагаются между центральными («пустыми») зонами и пиритовыми ореолами фланговых зон.

Наибольшее поисковое значение имеют продукты гидротермально-метасоматических изменений, обычно характеризующиеся зональным проявлением, что позволяет определить положение рудных тел относительно точек наблюдения:

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 периферии;

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 может проявиться в экзоконтактовых зонах интрузивов на периферии кварц-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 медно-порфировых систем;

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, получают широкое развитие на верхних уровнях МПС, иногда вне видимой связи с порфировыми штоками, но могут представлять специфический морфологический тип рудных тел.

Рудоносные интрузивы, представленные штоками, неправильными телами, дайками и сериями сопряженных даек, в зависимости от типа зон могут быть сложены гранит-порфирами, гранодиорит-порфирами, кварцевыми монцонит-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.

Рудные тела, занимающие достаточно определенное место в рудно-метасоматической зональности, сами обладают зональным строением. Прежде всего, это выражается в закономерных переходах от центра систем к периферии вкрапленных руд в прожилково-вкрапленные и прожилковые. С другой стороны, в пределах промышленных контуров основные рудообразующие минералы могут размещаться зонально (по радиусам-векторам от центра): молибденит-халькопирит, молибденит-борнит-халькопирит, борнит-халькопирит, халькопирит.

Зоны окисления сульфидных руд («кэпинг»), характеризующиеся развитием окисных соединений железа и марганца, могут 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 марганца иногда может быть выразительным признаком минерализованных участков в зонах гипергенеза. Плотность штокверка

кварцевых (иногда калишпат-кварцевых) прожилков максимальна в осевой части интрузив-надынтрузивных зон.

Ни один из перечисленных критериев и признаков, взятых в отдельности, не является определяющим. Решающее значение для обнаружения объекта, заслуживающего постановки оценочных работ, имеет выявление комплекса признаков, прежде всего тех, которые отражают рудно-метасоматическую 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 показывают отечественный и зарубежный опыт, значительные по запасам рудные тела ассоциируют с интрузивами, залегающими на значительных глубинах.

Условия прогноза и поисков медно-порфировых месторождений определяются тем, в какой мере конкретная геологическая ситуация отвечает типовой модели прогноза и поисков.

Выделяется несколько вариантов ведения поисков медно-порфировых месторождений, отвечающих разному положению эрозионного среза (рис. 9).

Первый вариант (надрудный эрозионный срез) соответствует такому положению эрозионной плоскости, когда дневная поверхность располагается на расстоянии в сотни метров (более 300 м) над верхними выклиниваниями рудоносных порфировых штоков.

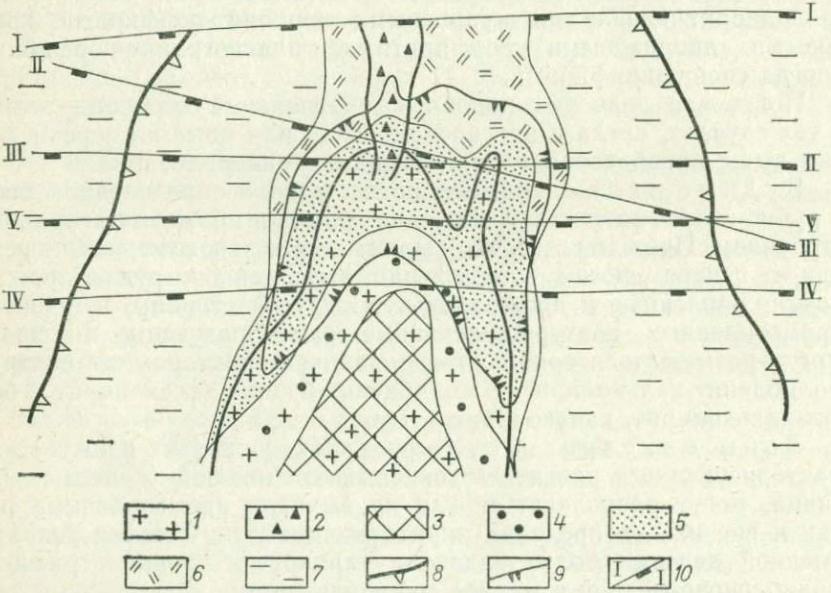


Рис. 9. Модель вертикального сечения медно-порфирового месторождения:

1 — рудоносный порфировый интрузив; *2* — брекчиевая трубка; *3* — кварцевое «ядро»; *4* — зона калишпатизации и биотитизации; *5* — зона окварцевания и серицитизации; *6* — зона аргиллизации; *7* — пропилитизированные породы интрузивной рамы; *8* — границы ореола интенсивной пиритизации; *9* — контуры промышленных руд; *10* — варанты положения эрозионного среза (I—IV)

Прямые признаки присутствия рудных тел на глубине здесь не получают выражения. К косвенным могут быть отнесены наличие люцонит-энаргитовой (медно-мышьяковой) и, в меньшей степени, серной с марказитом минерализации в пропилитизированных и аргиллизированных породах; тела брекчий; геофизические аномалии, подтверждающие присутствие на глубине интрузивных тел.

Второй вариант (малый эрозионный срез) отвечает сечениям, находящимся непосредственно над верхними выклиниваниями рудоносных порфировых интрузивов либо несколько ниже, и соответствует верхним и фланговым зонам медно-порфировых систем.

Внешние части маркируются зонами пропилитизации, пиритовыми ореолами, проявлениями свинцово-цинковой минерализации, турмалиновыми и медно-турмалиновыми жилами. Наиболее информативны в подобной обстановке халькопиритовая минерализация в пределах пиритового ореола, выходы рудоносных порфировых интрузивов, комплексные геохимические аномалии.

Третий вариант (умеренный или малый эрозионный срез) близок ко второму, отличаясь от него средними углами встречи плоскости эрозии и оси МПС. В этом случае на поверхности фиксируются апофизы рудоносного интрузива среди пропилитизированных пород рамы.

Четвертый вариант (глубокий эрозионный срез) отвечает наиболее глубоким уровням эрозии, близким к нижним выклиниваниям рудных тел, но вскрывающим значительные массы промышленных руд. Характерным элементом строения подобных обстановок являются кварцевые и кварц-полевошпатовые («пегматоидные») тела, сопровождающиеся молибденовой, нередко вольфрамовой и оловянной минерализацией.

Пятый вариант (умеренный эрозионный срез) занимает промежуточное положение между вторым и четвертым вариантами и соответствует средним частям систем, где располагается основной объем медно-порфировых руд.

Подобный вариант характерен для большинства медно-порфировых объектов и представляет наибольший интерес для промышленности. В этом случае на поверхности обнажаются рудоносные порфировые интрузивы, минерализованные зоны в окварцованных, серицитизированных, калишпатизированных породах, часто присутствуют брекчиевые тела. Оруденение находит отражение во вторичных геохимических комплексных аномалиях.

Требования к результатам работ по стадиям геологоразведочного процесса

Общие поиски *. 1. Работы этой стадии проводятся в пределах потенциальных рудных районов, выделенных при региональных геолого-съемочных и геофизических работах, по которым

---

* Здесь и далее «Общими поисками» сокращенно называется стадия геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками.

оценены прогнозные ресурсы категории P_3. Для потенциальных рудных районов должны быть установлены следующие необходимые (обязательные) и возможно выявляемые факторы.

Необходимые факторы: ареалы развития интрузивов продуктивной плутоногенной формации (комплекса); многофазные интрузивы продуктивной плутоногенной формации и поля развития порфировых фаз; брекчиевые тела значительных размеров; проявления медной, молибденовой, медно-мышьяковой, свинцово-цинковой и серной минерализации в плутонитах и их обрамлении; комплексные ореолы и геохимические аномалии меди, молибдена, свинца, цинка, золота, серебра, мышьяка в плутонитах, их обрамлении и потоках рассеяния; шлиховые минералого-геохимические аномалии.

Возможно выявляемые факторы: локальные устойчивые магматогенные палеоподнятия; узлы сопряжения кольцевых (дуговых) и линейных структур; аномалии аэрогаммаспектрометрии; аэроэлектроразведочные аномалии; магнитометрические аномалии.

Цель общих поисков — установление потенциальных рудных полей, эквивалентных перспективным медно-порфировым системам (МПС). Результат работ достигается путем решения ряда задач по опознанию признаков МПС, их внешних и центральных (ядерных) частей. В результате исследований этой стадии оцениваются прогнозные ресурсы потенциальных рудных полей по категории P_2.

2. При предпроектных прогнозных исследованиях на основе анализа установленных факторов и признаков производится выделение площадей с различной степенью перспективности и определение очередности их поискового освоения. В зависимости от объема информации по перспективным площадям устанавливается последовательность, масштабы и объемы проектируемых геологических, геофизических и геохимических работ.

Поисковые работы. 1. Работы этой стадии осуществляются в пределах сложно построенных рудных полей (медно-порфировых систем) в случаях, когда в их пределах в процессе общих поисков непосредственно обнаружить прожилково-вкрапленные молибденово-медное оруденение не удается, но вероятное его наличие подтверждается рядом других признаков.

Основная задача стадии — установление перспективных участков, отвечающих внутренним, рудоносным зонам МПС с появлением молибденово-медной минерализации прожилково-вкрапленного типа. Такие участки могут быть обнаружены после выявления внешних или центральных частей МПС на стадии общих поисков или непосредственно работами этой стадии. После окончания работ прогнозные ресурсы каждого участка подсчитываются по категории P_2.

2. Предпроектный прогноз заключается в анализе информации, полученной при общих поисках и выделении наиболее перспективных, сравнительно небольших по размерам площадей, в пределах

которых возможно обнаружение медно-порфирового оруденения. При этом определяется очередность постановки различных видов работ на конкретных участках, их необходимый объем, а также последовательность выделенных площадей.

Комплексирование работ при поисках

Задачей общих поисков является установление комплекса поисковых критериев и признаков с целью обнаружения участков для постановки поисково-оценочных работ. Применяемые 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. Существенно большими возможностями обладают материалы цветных и спектрозональных съемок.

Геофизические методы. Существенные различия в природе элементов МПС и их выражения в физических полях определяют разную эффективность выявления поисковых критериев и признаков геофизическими методами: гравиметрическими, магнитометрическими, гаммаспектрометрическими, электроразведочными.

Гравиметрические и аэромагнитометрические съемки средних масштабов имеют ограниченную поисковую эффективность. Этими видами работ возможно выявление региональных факторов, определяющих строение металлогенических зон и позицию в них рудных районов.

Крупномасштабные гравиметрические съемки в сочетании с другими методами способствуют расчленению потенциально рудоносных плутонов. Наземная магнитометрия дополняет гравиметрические исследования и имеет самостоятельное поисковое значение.

Магнитометрическими съемками выделяются экзоконтактовые зоны интрузивов, сопровождающихся ороговикова-

нием и скарнированием пород интрузивной рамы; зоны развития магнетита во внутренних частях МПС. Собственно рудоносные части, совпадающие с зонами серицитизации, окварцевания и аргиллизации, могут фиксироваться отрицательными аномалиями, природа которых без дополнительной информации не всегда поддается однозначной интерпретации.

Гамма-спектрометрия в аэроварианте используется как рекогносцировочный метод, решающий задачу выделения потенциально перспективных площадей значительных масштабов. В наземном варианте гамма-спектрометрический метод, как показывают результаты опытно-методических работ, выполненных пока в ограниченном объеме, позволяет оконтуривать участки серицитизации и калишпатизации.

Эффективность метода вызванной поляризации (ВП) доказана практикой поисков медно-порфировых месторождений в СССР и за рубежом. Этот метод позволяет выделять все сульфидсодержащие зоны МПС, которым отвечают максимальные значения аномалий ВП. При этом халькопирит- и борнитсодержащие зоны фиксируются аномалиями умеренных и малых значений. Многоразносное комбинированное профилирование по методу ВП, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ ВП) и работы в варианте срединного градиента (СГ ВП) позволяют определить распространенность сульфидсодержащих зон на глубину.

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 малоизученных районах, как показывает зарубежный опыт, варьирует от 1 пробы на 10—25 км^2 до 1—2 проб на 1 км^2. Материал проб обычно анализируется на Cu, Pb и Zn, иногда на Mo, Ag, Au. 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 (Cu, Mo, Pb, Zn, реже Ag, Au, As). Участки повышенных концентраций меди обычно фиксируются отчетливо выраженными положительными ее аномалиями в почвенном слое. Вместе с тем, в обстановках хорошо проработанных зон гипергенных преобразований над рудными телами могут проявляться отрицатель-

ные аномалии меди. Более высокие концентрации меди накапливаются в почвах на периферии рудоносных зон, где относительно слабо преобразованные породы более устойчивы к гипергенным процессам.

В целом геохимические методы поисков обеспечивают решение задач по определению позиций 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.

Общая последовательность работ отражена в схеме прогнозно-поискового комплекса (рис. 10), созданного на базе принципов последовательного приближения и соответствия. Полнота реализации схемы определяется уровнем изученности территории. В каждом конкретном случае работы должны начинаться с того отрезка процесса, началу которого отвечает выявление объекта прогноза либо поисков предшествующей стадии.

Основной вариант комплекса предусматривает проведение работ на всех отрезках приведенной выше последовательности с обнаружением всех объектов прогноза и поисков и отвечает наиболее длительному пути реализации регионального прогноза в рудные тела.

Сокращенные варианты обеспечивают ускорение реализации прогнозно-поисковых работ за счет обоснованного исключения «избыточных» методов и видов исследований. Для обоснования сокращенных вариантов использована таблица (рис. 11), в которой проанализированы возможности опознания того или иного объекта поисков теми или иными признаками либо их комплексом. Подобный анализ выполнен и в отношении возможностей выявления признаков определенными поисковыми методами.

Для оценки масштабов проявления рудной минерализации и установления ее возможного промышленного значения решающее значение имеет расшифровка рудных тел. Эта задача во многом облегчается определением принадлежности оцениваемого объекта к тому или иному из охарактеризованных выше морфологических типов рудных тел.

Существенное значение для достоверности оценки масштабов выявленных объектов имеют доказательства сплошности оруденения. В рудных телах конформной группы изоконцентраты меди, как 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 скважины на скважину нередко приводит к завышению масштабов объектов. Известны случаи, когда субъективно принятые варианты пологого залегания минерализованных зон опровергались при уплотнении сети скважин, вскрывающих принципиально иную ситуацию — серию мало-

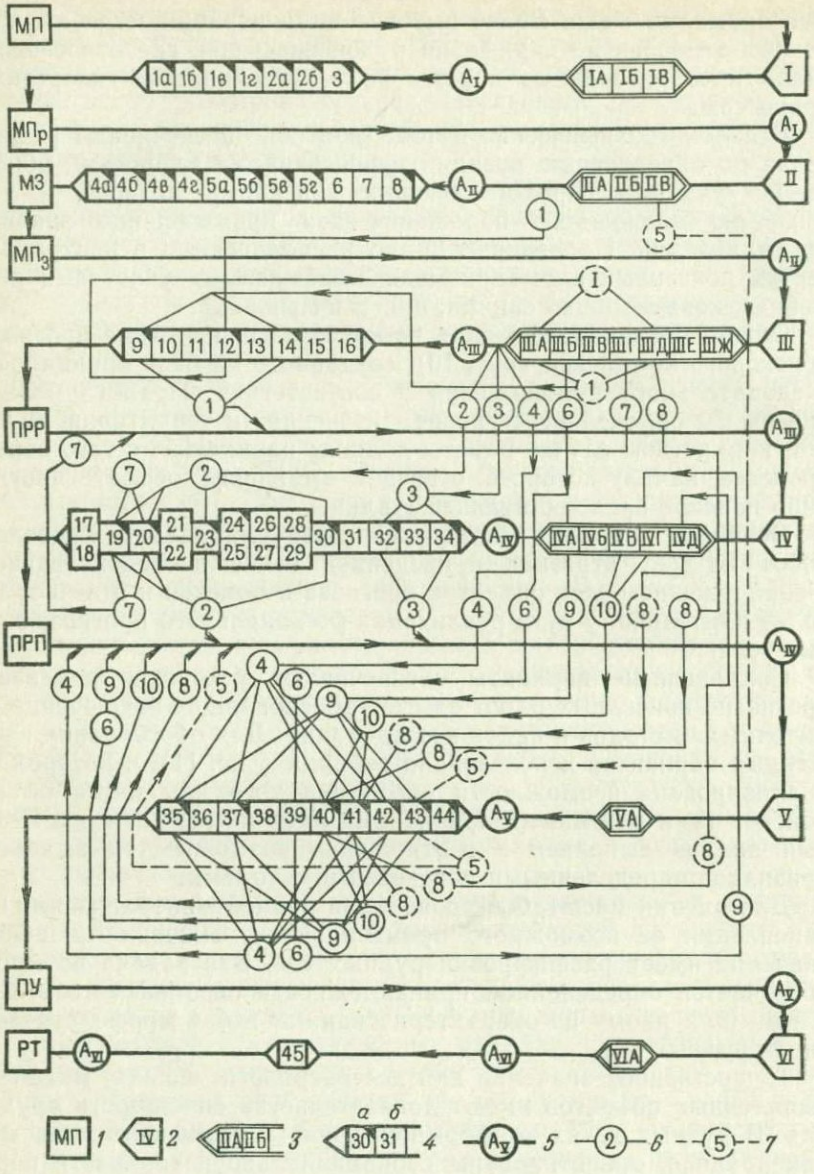


Рис. 10. Схема прогнозно-поискового комплекса для месторождений медно-порфирового типа:

1 — объекты прогноза и поисков и их геологические и формационные эквиваленты (в скобках): МП — металлогенический пояс (потенциально перспективная территория — ППТ), МПр — металлогеническая провинция (вулкано-плутонический пояс — ВПП), МЗ — металлогеническая зона (продуктивная вулкано-плутоническая ассоциация — ПВПА), МПз — металлогеническая подзона (продуктивная плутоническая формация — ППФ); ПРР — потенциальные рудные районы и рудные узлы (группы медно-порфировых систем — МПС); ПРП — потенциальные рудные поля (перспективные МПС); ПУ — поисковые участки (внутренние зоны МПС); РТ — рудные тела (части рудоносных зон МПС); *2* — стадии работ: I — составление прогнозных карт масштаба 1 : 1 500 000—1 : 1 000 000; II — составление прогнозных карт мас-

штаба 1 : 1 000 000 — 1 : 500 000; III — составление прогнозных карт масштаба 1 : 200 000 и ревизионно-поисковые работы масштаба 1 : 200 000; IV — геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000 — 1 : 25 000 с общими поисками и поисковые работы; V — поисково-оценочные работы; VI — предварительная разведка; *3* — комплексы методов и видов работ по стадиям: IA — палеотектонический анализ территории; IБ — структурно-формационный анализ с геологической интерпретацией данных региональных геофизических исследований, IB — металлогенический анализ территорий; IIA — структурно-формационный анализ с геологической интерпретацией данных региональных гравиметрических, магнитометрических и сейсморазведочных исследований; IIБ — дешифрирование материалов космических и аэровысотных съемок; IIB — разбраковка проявлений рудной минерализации с определением их положения в вулканогенных и плутоногенных формациях, IIIA — структурный и фациально-формационный анализы площадей развития ППФ с использованием гравиметрических, магнитометрических и сейсморазведочных данных, IIIБ — дешифрирование аэрофотоматериалов, IIIB — металлогенический анализ, IIIГ — анализ данных шлихо-минералогических и шлиховых минералого-геохимических методов поисков; IIIД — анализ результатов геохимических поисков масштаба 1 : 20 000 рекогносцировочных и ревизионных геохимических исследований; IIIE — анализ данных аэрогамма-спектрометрии; IIIЖ — анализ результатов аэроэлектроразведочных работ; IVA — геологическое картирование; IVБ — детализация шлиховых ореолов; IVB — геохимические поиски; IVГ — детализационные магнитометрические работы; IVД — электроразведка методом ВП (или ВП и ЕП); VA — комплекс детализационных работ; VIA — разбуривание в комплексе с другими методами работ; *4—5* — комплексы признаков (*4* — главные; *5* — второстепенные):

1 — палеотектоническая позиция ВПП в латерально-временных рядах: 1а — внутренняя зона островной дуги (ВЗ) — вулкано-плутонический пояс (ВПП) — тыловой прогиб (ТП) — область ранней стабилизации (ОС) в периокеанических геоструктурах андского типа; 1б — ВЗ — срединный массив (СМ) — ТП—ВПП—ОС в периокеанических геоструктурах восточно-азиатского типа; 1в — ортогеосинклиналь (ОГ) — парагеосинклиналь (ПГ) — ВПП — ТП—ОС во внутриконтинентальных геоструктурах казахстанского типа; 1г—ВЗ—ВПП барьерной зоны — фронтальный прогиб (ФП) в островодужных структурах; 2 — магматические признаки: *2а* — в краевых ВПП сообщество базальт-андезит-риолитовой группы андезитоидных вулканогенных формаций с плутонитами габбро-диорит-гранитной группы K, K-Na, Na типов известково-щелочной, субщелочной и щелочной серий; *2б* — в ВПП барьерных зон сообщество базальтоидных вулканогенных формаций Na серии (базальтовой, контрастной, непрерывной, базальт-андезито-базальтовой) и плутонитов габбро-диоритовой±плагиогранитной формации; 3 — проявления Cu, Cu-Mo, Pb-Zn, Cu-As, S минерализации в ВПП и его раме; 4 — формационные признаки продуктивных вулкано-плутонических ассоциаций (ПВПА), отвечающих сочетаниям формаций; *4а* — дацит-риолитовой вулканогенной в диорит-(монцонит)-гранодиорит-гранитной плутоногенной K ряда известково-щелочной серии в эпикратонных частях ВПП, *4б* — андезит-дацит-риолитовой, дацитовой, дацит-риолитовой вулканогенных 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 эпиэвгеосинклинальных частях ВПП; *4г* — базальт-андезит-базальтовой вулканогенной и габбро-диоритовой плутоногенной формации Na ряда в барьерных зонах островодужных структур; 5 — формационная принадлежность 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 эпиэвгеосинклинальной обстановке; *5г* — габбро-диоритовые-(плагиогранитные) формации Na ряда в барьерных зонах островодужных геоструктур; 6 — поперечные и диагональные структуры, осложняющие конфигурацию ВПП; 7 — относительно приподнятые блоки ВПП; 8 — проявления S, Cu, Mo-Cu, Cu-Mo, Mo, Cu-As, Pb-Zn минерализации в различных составляющих ВПА; 9 — многофазные плутоны либо поля развития порфировых фаз; 10 — локальные устойчивые палеоподнятия; 11 — сочетания кольцевых (луговых) 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 аэрогамма-спектрометрии; 16 — аэроэлектроразведочные аномалии; 17—31 — внешние части МПС; 17 — порфировые фазы, 18 — брекчиевые тела трубчатой формы, обладающие значительными размерами, 19 — прожилково-вкрапленная и жильная минерализация, 20 — зоны пиритизации, 21 — люцонит-энаргитовая минерализация, 22 — медно-турмалиновая и кварц-турмалиновая минерализация, 23 — первичные и вторичные геохимические ореолы и аномалии, отвечающие конечным членам ряда W—Be—Sn—Mo—Cu(Bi)—Pb, Zn—Au, Ag—As, S, 24 — пропилитизация, 25 — аргиллизация, 26 — алунитизация, 27 — серная минерализация с марказитом, 28 — скарнирование, 29 — скарновые залежи Cu-Pb-Zn и медно-магнетитовых руд, 30 — аномалии ВП и ЕП, 31 — магнитометрические аномалии; 32—34 — центральные (ядерные) части МПС: 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; 35—44 — внутренние части МПС: 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 — проявления вкрапленной и прожилково-вкрапленной Cu, Mo-Cu, Cu-Mo, Mo минерализации, 44 — значительные масштабы оруденелых зон; 45 — промышленные требования; *6* — основной вариант ведения поисков и его отрезки; 7 — сокращенные варианты ведения поисков; *8* — варианты ведения поисков с риском получения отрицательных результатов

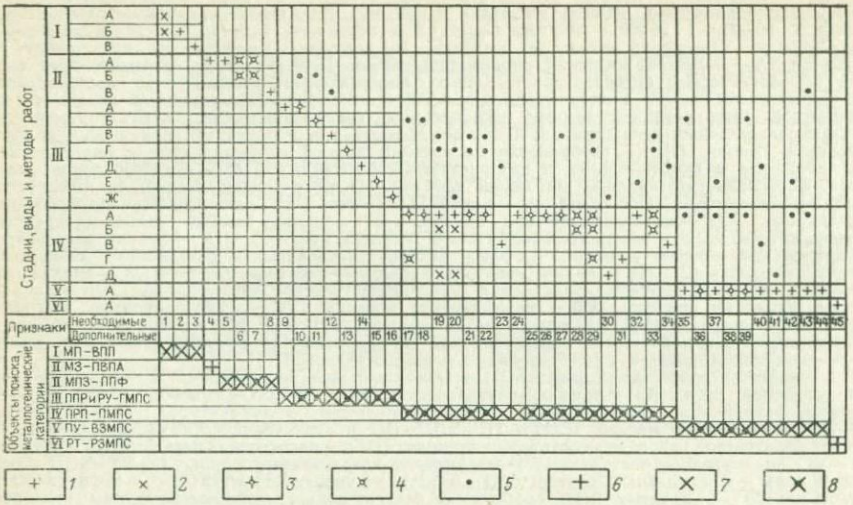


Рис. 11. Последовательность и варианты опознания объектов поисков при прогнозе, поисках и оценке медно-порфирового оруденения.

Опознаваемость признаков методами: *1* — в любых обстановках одним методом, *2* — в любых обстановках в комплексе с другими методами, *3* — в специфических обстановках одним методом, *4* — в специфических обстановках в комплексе с другими методами, *5* — в благоприятных обстановках одним методом.

Опознаваемость объектов признаками: *6* — одним признаком, *7* — комплексом признаков, *8* — комплексом признаков в специфических обстановках

мощных субвертикальных зон, обладающих существенно меньшими запасами.

Наиболее надежную информацию обеспечивает проходка наклонных, либо перекрывающихся в пространстве скважин, что широко используется в зарубежной практике для определения степени сплошности оруденения и ориентировки минерализованных зон. Необходимо также подчеркнуть, что уже при оценочных работах целесообразна проходка отдельных скважин до глубины 750—1000 м; это особено важно для дисконформных рудных тел. Единичные глубокие скважины обеспечивают, кроме решения морфологических задач, оценку вертикального размаха оруденения и выявление возможных нижних его этажей.

Значительный опыт поисково-оценочных работ на медно-порфировых месторождениях, накопленный ПГО «Южказгеология», «Центрказгеология» и «Севказгеология», обобщен в соответствующих «Методических рекомендациях...», подготовленных в 1980 г. КазИМСом.

Медноколчеданные месторождения

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Медноколчеданные месторождения входят в семейство колчеданных месторождений, представители которого в зависимости от типа колчеданоносных провинций обладают широким спектром состава руд и рудных тел: от маломедистых (с кобальтом) пиритовых через медные и цинково-медные до медно-цинково-свинцовых (колчеанно-полиметаллических). Месторождения принадлежат к продуктам раннегеосинклинальной металлогении и находятся в тесных пространственно-временных связях с производными инициального вулканизма — с определенными вулканогенными, осадочно-вулканогенными и вулканогенно-осадочными формациями. Собственно медноколчеданные месторождения характерны для провинций уральского и кипрско-мугоджарского типа, принадлежащих к классическим первичным эвгеосинклиналям [14].

Геологические основы прогноза и поисков медноколчеданных месторождений определяются их приуроченностью к конкретным вулканогенным формациям, а также нахождением рудных тел в определенных частях разреза этих формаций (на определенных литолого-стратиграфических уровнях) и контролем оруденения (синвулканическими структурами. Модели объектов прогноза и поисков и условия проведения соответствующих работ разрабатываются с учетом обстановки нахождения месторождений. Последняя обусловлена сочетанием двух ведущих групп факторов: условия возникновения месторождений при раннегеосинклинальном вулканизме; характер и интенсивность преобразований месторождений при последующих тектоно-магматических процессах.

На примере уральских месторождений по условиям возникновения медноколчеданных залежей выделяется три типа обстановок, соответствующих трем типам районов.

Первый характеризуется приуроченностью рудных тел к вулканитам основного состава, принадлежащим к контрастным (базальт-риолитовым) формациям, кислые составляющие которых представлены преимущественно субвулканическими фациями (кипрско-мугоджарский тип).

Во втором типе обстановок формирование оруденения также связано с контрастными формациями, но в разрезах последних значительным распространением пользуются туфовые и лавовые фации кислого состава. Рудные тела в целом тяготеют к областям контакта основных и кислых вулканитов, располагаются и в тех и в других, фиксируя два — три рудоконтролирующих уровня.

Для третьего типа обстановок характерна связь оруденения с непрерывными (базальт-андезит-дацит-риолитовыми) формациями, приуроченность рудных тел к умеренно кислым и кислым частям разреза с локализацией на двух—четырех основных рудоконтролирующих уровнях.

Районы различаются по палеовулканическим условиям рудонакопления, природе и масштабам рудоконтролирующих и рудовмещающих структур — все это в сумме определяет три различных варианта обстановок нахождения месторождений в недислоцированных и неметаморфизованных вулканогенных толщах. Общим для этих обстановок является субгоризонтальное залегание рудовмещающих толщ, хорошая сохранность палеовулканических структур, ярко выраженная в формах поверхностей отдельных толщ вулканогенных формаций.

Продукты колчеданообразования могут обосабливаться в виде рудных тел двух основных классов. К первому принадлежат пластообразные, согласные с напластованием тела, представляющие результат гидротермально-осадочного рудоотложения в депрессионных структурах и сопряженные с непромышленными гидротермально-метасоматическими прожилково-вкрапленными рудами лежачего бока.

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 лежачего бока обладают всеми признаками гидротермально-метасоматического рудоотложения в подводящих каналах.

Типовая модель медноколчеданного месторождения определяется системой соподчиненных элементов разного ранга, из которых для целей прогноза и поисков ведущее значение имеют следующие.

1. Отложения, перекрывающие колчеданоносные вулканогенные формации и обычно представленные вулканогенными молассоидами и породами базальт-андезито-базальтовой формации.

2. Колчеданоносные вулканогенные формации: контрастная (базальт-риолитовая) либо непрерывная (базальт-андезит-дацит-риолитовая).

3. Кислые дифференциаты колчеданоносных вулканогенных формаций.

4. Рудоконтролирующие части разрезов колчеданоносных вулканогенных формаций, включающие надрудные, рудовмещающие и подрудные толщи вместе с поверхностями (уровнями) локализации гидротермально-осадочных руд. При этом расположении рудных тел толщи, перекрывающие залежи нижних уровней, выступают в качестве подрудных и рудовмещающих для залежей верхних уровней.

5. Рудоконтролирующие структуры, в качестве которых чаще всего выступают палеовулканические сооружения, образованные эффузивными, экструзивными и субвулканическими фациями умеренно кислого и кислого состава. Обычны группы экструзивных куполов риолитового и риолит-дацитового состава нескольких периодов (и уровней) формирования.

6. Комплекс поисковых признаков рудных тел.

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 лежачего бока согласных залежей.

Сульфидоносные метасоматиты серицитолитовой формации, подчиненные рудоподводящим каналам, ограниченные по восстанию поверхностями рудоконтролирующих уровней и отвечающие лежачему боку рудных тел. Метасоматиты нередко зональны по латерали относительно подводящих каналов: существенно кварцевые и серицит-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, которые в типовых обстановках располагаются в рудовмещающих толщах, подчинены зонам развития метасоматитов серицитолитовой формации, но развиваются шире. В перекрывающих толщах ореолы обладают резко ограниченным вертикальным размахом и нередко почти вплотную примыкают к висячему боку гидротермально-осадочных частей комбинированных рудных тел.

Рудокластические образования, которые присутствуют лишь на тех объектах, где синвулканические деформации привели к существенному изменению рельефа поверхности рудолокализации до захоронения руд, а режим последующего осадконакопления обеспечил разрушение отложенного рудного вещества.

Послойная сульфидная вкрапленность в вулканомиктовых пачках.

7. Рудные подсечения. Сечения, получаемые по отдельным скважинам, могут оцениваться по положению относительно основного объема рудных тел, исходя из минералогической и рудной зональности.

Генеральный рисунок зональности от лежачего бока к висячему (в недеформированных и непреобразованных залежах — по вертикали) определяется последовательностью развития ряда пирит-халькопирит-сфалерит, но обычно существенно осложнен многочисленными микро- и макроритмами, 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 соответствует 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 группами залежей, располагающихся либо на общем литолого-стратиграфическом уровне, либо 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 рудные залежи — выделяются в соответствии с геолого-экономическими требованиями.

Элементы типовой модели в сумме составляют комплекс прогнозных и поисковых критериев и признаков, подлежащих выявлению при решении главной задачи геологоразведочных работ — обнаружении месторождения.

Разнопорядковый характер элементов типовой модели отражает вхождение медноколчеданных залежей, представляющих месторождения, в систему соподчиненных прогнозно-металлогенических категорий разного ранга (табл. 20).

Колчеданоносные структурно-формационные зоны в наиболее общем случае соответствуют тем частям эвгеосинклинального пространства, где развиты продуктивные вулканогенные формации — контрастная и непрерывная, либо одна из этих формаций, неоднократно повторяющаяся по простиранию зоны.

Наиболее значительные в промышленном отношении медноколчеданные месторождения приурочены к структурно-формационным зонам между барьерными зонами древних островных дуг и тыльными зонами ранней стабилизации. Барьерные зоны обычно образованы вулканитами базальт-андезито-базальтовой формации, развивавшейся на базальтах недифференцированной формации; тыльные зоны сложены вулканитами недифференцированной формации, которые в период развития внутренних зон перекрываются продуктами седиментогенеза в тыльных бассейнах.

Специфический тип зон представляют узкие рифтовидные прогибы, заполненные базальтоидами недифференцированной формации, на которых залегают вулканиты контрастной формации с угнетенным развитием кислых составляющих (табл. 21).

Потенциальные рудные районы эквивалентны структурно-формационным подзонам либо блокам, сложенным одной из колчеданоносных формаций — контрастной или непрерывной.

Потенциальные рудные поля занимают часть площади развития колчеданоносной формации и в основных типах рудных районов совпадают с ареалами распространения кислых дифференциатов, представленных экструзивными куполами, лавовыми потоками и туфовыми толщами.

Перспективные участки в пределах рудных полей соответствуют рудоконтролирующим структурам, которые объединяют палеовулканические сооружения, образованные экструзивными и субвулканическими фациями умеренно кислого и кислого состава, синвулканические депрессии на разных уровнях разреза

Таблица 20

Признаки прогнозных площадей, перспективных на медноколчеданное оруденение

Прогнозные площади	Объекты и цели поисков	Признаки объектов и целей поисков в подзонах продуктивных формаций	
		непрерывной	контрастной
Потенциальный район (или его часть) в перекрытом залегании	Поля развития колчеданоносных вулканогенных формаций натровой серии базальтоидного магматизма	Четырехчленное строение разреза формации со сменой (снизу вверх) дифференциатов базальтового, андезито-базальтового, андезито-дацитового и дацит-риолит-дацитового состава	Трехчленное строение разреза формации: дифференциаты базальтового состава с линзами дифференциатов андезито-дацитового и дацитового состава
	Области надрудного положения эрозионного среза	Эрозионный срез расположен выше кровли кислых дифференциатов, на уровне нижних частей разреза перекрывающей базальт-андезито-базальтовой формации	Эрозионный срез расположен выше уровня кровли кислых дифференциатов
Потенциальное рудное поле	Поля развития кислых дифференциатов продуктивных вулканогенных формаций	Развитие вулканитов андезито-дацитового, дацитового и риолит-дацитового состава, экструзивных куполов крупнокварцевых порфиритов того же состава нескольких генераций	Развитие вулканитов андезито-дацитового и дацитового состава с субвулканическими телами риолит-дацитовых порфиритов
	Рудоконтролирующие части разреза продуктивных вулканогенных формаций	Основные уровни рудолокализации — поверхности кровли и подошвы вулканитов кислого состава и экструзивных куполов ранних генераций	Основной уровень рудолокализации — поверхность накопления вулканитов кислого состава (кровля базальтоидного основания кислого разреза)
Перспективный участок	Рудоконтролирующие структуры	Биклинальные структуры и палеовулканические сооружения, образованные дифференциатами кислого и умеренно кислого состава, включая экструзивные купола; группы депрессионных структур в пределах уровней рудолокализации, на поверхности и склонах экструзивных куполов	Биклинальные структуры и палеовулканические сооружения, образованные дифференциатами кислого и умеренно кислого состава, депрессионные структуры в пределах уровней рудолокализации

и синвулканические разрывы, контролирующие распределение фаций и мощностей вулканитов.

В основе современных разработок ключевых вопросов генезиса месторождений колчеданного семейства лежит концепция их формирования, которая, по выражению В. И. Смирнова «...опирается на то обстоятельство, что они свойственны только вулканогенным и вулканогенно-осадочным формациям и возникли в тесной пространственной и генетической связи с этими типичными продуктами субмаринного базальтоидного вулканизма ранних стадий эвгеосинклинального режима» [42].

Обстановки рудонакопления на разных уровнях разреза рудоносных формаций удачно отражены В. И. Смирновым [42] в разделении колчеданных месторождений на вулканогенные гидротермально-осадочные, вулканогенные гидротермально-метасоматические и комбинированные вулканогенные гидротермально-метасоматические.

Применительно к каждому уровню рудонакопления на отдельных отрезках становления рудоносных формаций отложение руд из восходящих растворов по В. И. Смирнову «...может происходить в трех зонах: 1) в окрепших породах предшествующей стадии вулканической деятельности, 2) в рыхлых неокрепших осадках данной стадии, 3) на дне моря» [42]. Первая из зон соответствует выводному каналу, вторая — нелитифицированным придонным отложениям, третья — поверхности раздела осадок — воды бассейна. Все зоны, как правило, существуют в каждый период рудонакопления, отвечающем рудоконтролирующему уровню.

Наиболее широко распространенные залежи комбинированного класса характерны для сближенного, сопряженного размещения зон. Субпластовые, сингенетичные части таких тел, образованные гидротермально-осадочным путем на дне моря либо возникшие в результате замещения нелитифицированных донных образований, постепенно переходят на глубину в секущие эпигенетические (корневые) гидротермально-метасоматические, локализованные в рудоподводящем канале ниже уровня накопления сингенетичных руд (рис. 12).

Собственно эпигенетические самостоятельные гидротермально-метасоматические залежи могут возникать в рудоподводящих каналах при отсутствии условий для рудоотложения на их выходах на морское дно либо при отсутствии сообщения между каналом и дном. По обстановкам возникновения подобные залежи эквивалентны корневым частям комбинированных тел, реже соответствуют продолжению процессов рудообразования без достижения растворами верхних уровней сингенетичного рудонакопления.

Собственно сингенетичные, самостоятельные гидротермально-осадочные залежи (бескорневые тела) формируются при рудонакоплении в палеодепрессиях на том или ином удалении от выводных каналов при расположении последних на поднятиях рельефа дна и перетекании изливающихся рудообразующих растворов — рассолов в понижения рельефа (см. рис. 12, Б). Особому

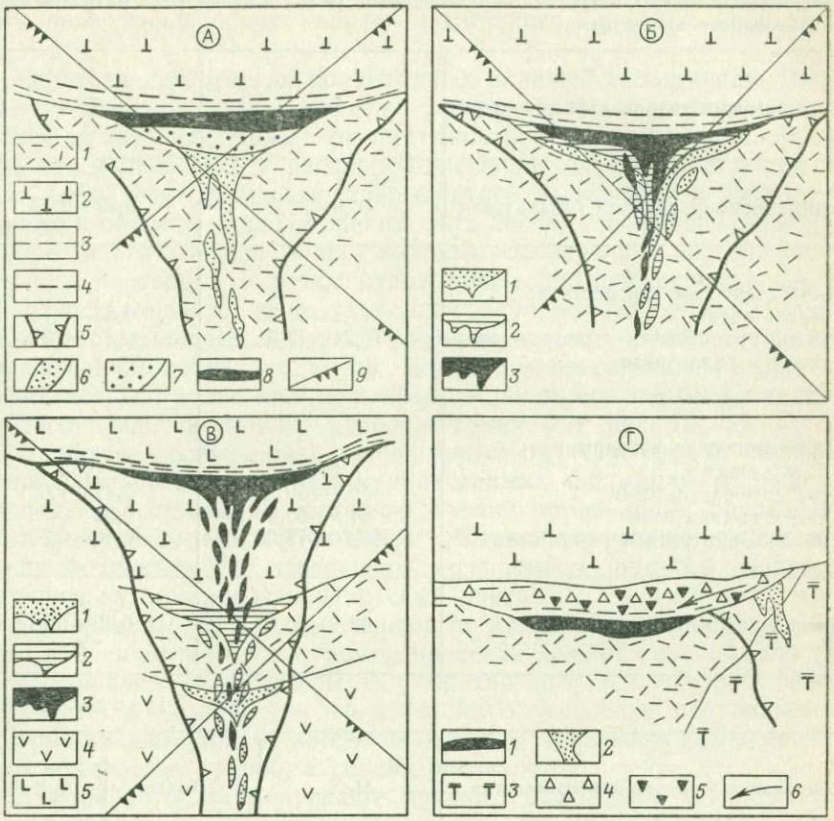


Рис. 12. Принципиальные схемы (А—Г) строения колчеданных залежей.

А — одноритмовое формирование: *1* — лавы и туфы андезит-дацитового состава; *2* — лавы дацитов и риолитов; *3* — сульфидоносные вулканомиктовые отложения; *4* — яшмовидные железо- и марганецсодержащие отложения; *5* — границы выводного канала, вмещающего сульфидоносные метасоматиты; *6—8* — руды (*6* — эпигенетические прожилковые и вкрапленно-прожилковые, *7* — метасоматические, заместившие придонные отложения, *8* — сингенетичные вулканогенно-осадочные); *9* — варианты положения поверхности эрозионного среза при изменении пространственной ориентировки рудных тел вследствие пострудных деформаций.

Б — трехритмовое формирование на одном литолого-стратиграфическом уровне с наложением поздних продуктов рудообразования на ранние: *1—3* — эпигенетичные и сингенетичные руды разных периодов формирования (*1* — раннего, *2* — среднего, *3* — позднего); остальные условные обозначения смотри на рис. А.

В — связка рудных тел (каждое одноритмового либо многоритмового формирования) на трех разновозрастных уровнях с наложением поздних продуктов рудогенеза на ранние: *1—3* — эпигенетичные и сингенетичные руды, синхронные разным рудоконтролирующим уровням (*1* — нижнему, *2* — среднему, *3* — верхнему); *4* — туфы андезитов и андезито-базальтов рудоносной формации; *5* — вулканогенные и осадочно-вулканогенные образования послерудных формаций; остальные условные обозначения смотри на рис. А и Б.

Г — «бескорневая» (дистальная) залежь в депрессии на удалении от выводного канала (по Т. Сато): *1* — сингенетичные вулканогенно-осадочные руды, *2* — эпигенетичные руды выводного канала, *3* — экструзивный купол риолитов, *4* — продукты разрушения экструзивного купола, *5* — рудокласты, *6* — направление поступления рудообразующих растворов-рассолов; остальные условные обозначения смотри на рис. А, Б, В

Таблица 21

Содержание основных петрогенных компонентов (в %) в вулканитах натровой серии базальтоидного магматизма

Формации и группы дифференциатов	SiO_2	TiO_2
Недифференцированная базальтовая	48,6—55,0	0,22—0,73
Колчеданоносная контрастная:		
базальтовая	47,7—51,35	0,81—0,73
андезит-дацитовая, риолит-дацитовая и риолитовая	71,24—73,91	0,27—0,37
Колчеданоносная непрерывная:		
базальтовая	51,3	0,64
андезито-базальтовая	56,7—59,2	0,42—1,6
андезито-дацитовая	64,5—65,2	0,38—0,58
риолит-дацитовая и риолитовая	68,70—73,08	0,26—0,39
Базальт-андезито-базальтовая	48,6—55,0	0,22—0,73

Продолжение

Формации и группы дифференциатов	Al_2O_3	Na_2O	K_2O
Недифференцированная базальтовая	15,2—17,6	2,4—3,6	0,44—1,28
Колчеданоносная контрастная:			
базальтовая	14,3—17,4	2,31—3,80	0,25—0,91
андезит-дацитовая, риолит-дацитовая и риолитовая	12,0—13,0	4,74—6,11	0,21—0,92
Колчеданоносная непрерывная:			
базальтовая	15,7	3,52	0,56
андезито-базальтовая	15,2	2,45	0,43—0,71
андезито-дацитовая	14,66—14,87	4,20—4,61	0,64—0,76
риолит-дацитовая и риолитовая	12,75—14,02	3,12—4,54	0,76—1,25
Базальт-андезито-базальтовая	15,2—17,6	2,4—3,6	0,44—1,28

мало распространенному случаю отвечают самостоятельные залежи, сложенные рудокластами — смещенными продуктами субмаринной деструкции ранее возникших рудных тел (см. рис. 12, Г)

Обычная для многих колчеданных залежей ритмичность, несомненно фиксирующая несколько разновременных периодов отложения сульфидов, может рассматриваться как следствие эволюции придонной линзы растворов-рассолов одноактного поступления либо как результат прерывистого выведения вещества из канала в область рудоотложения. Для последнего случая очевидны неизбежность взаимодействия каждой последующей порции поступающих растворов с ранее отложенным рудным веществом, его перекристаллизация и то или иное перераспределение. Пульсационно-прерывистый характер рудонакопления определяет таким образом наложение продуктов позднего эпигенетического рудообразования на руды каждого предшествующего отрезка сингенетичного и эпигенетичного рудоотложения (см. рис. 12, В).

Наиболее тесные связи колчеданных руд с умеренно кислыми и кислыми составляющими вулканогенных формаций рассматриваются как отражение общности причин образования оруденения и кислых выплавок. Эти связи обычно интерпретируются как парагенетические с отнесением источников рудного вещества к общим глубинным магматическим очагам.

По оценкам Т. Сато, риолитовые купола месторождений Куроко в Японии могут поставить менее 25 % необходимых для рудообразования растворов. Е. Спунер для кипрских месторождений отмечает, что количество магматогенных флюидов, поставляемых глубинным габбровым массивом, на 3—7 порядков ниже расчетного количества рудообразующих растворов.

Эти расчеты не допускают прямого выведения рудообразующих флюидов ни из кислых выплавок, ни из глубинных очагов, вследствие чего природа носителя рудного вещества при классических подходах не поддается конкретизации.

Альтернативное решение предлагают модели рудообразования по конвекционным схемам (рециклинг). Для колчеданных месторождений Кипра Е. Спунер выделяет следующие составляющие таких схем:

рабочий флюид — морская вода;

источник рудообразующих компонентов — толща шаровых лав, сменяющихся на глубине габброидами;

пути продвижения рудообразующих флюидов — межподушечные полости, поры, трещины и зоны дробления в основных лавах;

источник энергии, обеспечивающий функционирование конвекционной системы — магматический расплав, представленный массивом габбро;

механизм отложения сульфидов — выпадение на морском дне при резком охлаждении рудоносных растворов с исходной температурой 250—350 °С вследствие взаимодействия с придонными водами.

По данным Т. Сато, максимальные концентрации в рудообразующих растворах составляют (в $n \cdot 10^{-4}$ %): Cu — 5,4, Zn — 7,3, Fe — 3,8. Соотношения масс растворы — руда отвечают следующим величинам: для Cu — 87 000 : 1, для Zn — 10 232 : 1, для Fe — 9780 : 1 (т. е. на уровне $1 \cdot 10^4 : 1$). Иными словами, масса рудообразующих флюидов оказывается по крайней мере на порядок выше массы источника.

Это противоречие снимается допущением многократного оборота вод, число обменов которых можно определить через соотношение предельных содержаний компонента в руде и его концентраций в растворе, т. е. порядком $n \cdot 10^4$.

Из приведенных расчетов определены некоторые количественные характеристики процесса накопления 10 млн. т колчеданно-полиметаллических руд, состоящих из галенита, сфалерита, халькопирита и пирита. В качестве источника приняты породы с кларковыми содержаниями Pb, Zn и Cu и выносимыми содержаниями 10 % от кларковых (г/т): Pb — 1,6, Zn — 8,9, Cu — 4,7. При полной реализации этих содержаний в рудах с запасами 10 млн. т запасы металлов и их содержание в руде составят (млн. т/%): Pb 0,16/1,6, Zn — 0,83/8,3, Cu — 0,47/4,7. Пересчетом минерального состава руд запасы Fe определяются в 3,8 млн. т при содержании 38 %, S — в 4,7 млн. т при содержании 47 %.

Через выносимые концентрации масса источника определяется в $1 \cdot 10^{11}$ т, а объем — примерно $3{,}5 \cdot 10^{10}$ м^3. Объем растворов, единовременно находящихся в промываемых породах, при их проницаемости в 1 % составляет $3{,}5 \cdot 10^8$ м^3. При минимальной растворимости Zn (около 1 г/т) рудонакопление в принятых масштабах обеспечивается примерно $2{,}5 \cdot 10^3$ оборотами вод указанного объема. Тогда расчетные концентрации в растворах остальных компонентов составят (в г/т): Pb — 0,2, Cu — 0,6, Fe — 4,6, S — 5,7.

При растворимости Zn на уровне 2,5 г/т число оборотов вод уменьшается до 1000 и возрастают концентрации других компонентов (в г/т): Pb — до 0,5, Cu — до 1,5, Fe — до 11,5, S — до 14,25. Т. Сато обоснованы следующие концентрации компонентов в модельных рудообразующих растворах для месторождений Куроко (в г/т): Zn — 1,1—7,3, Pb — 0,03—0,2, Cu — 1,1 — 5,4, Fe — до 38, $S_{общ}$ — 90—440.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Обстановки возникновения месторождений существенно искажаются при наложении более поздних процессов. Как видно на рис. 13, из максимально возможного набора обстановок нахождения месторождений (18), промышленные объекты известны лишь в 12.

В первую группу выделяются обстановки месторождений с субгоризонтальными или слабо наклоненными рудными телами,

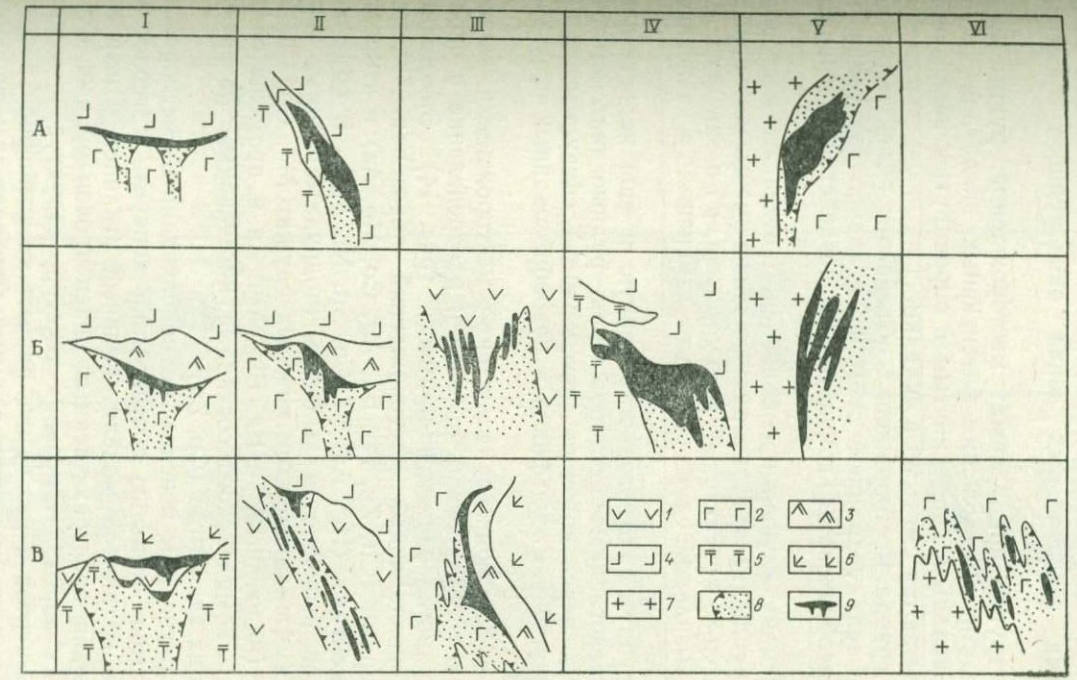


Рис. 13. Обстановки нахождения медноколчеданных месторождений Урала.

Типы рудных районов: А — домбаровский, Б — учалинско-сибайский, В — верхнеуральский; I—VI — группы месторождений по условиям залегания.

Вулканогенные образования колчеданоносных формаций: *1—2* — рудовмещающие (*1* — кислого и умеренно-кислого состава, *2* — основного состава); *3—4* — перекрывающие (*3* — кислого и умеренно-кислого состава; *4* — основного состава); *5* — экструзивные фации риолит-дацитового состава; *6* — вулканиты базальт-андезито-базальтовой формации (перекрывающие); *7* — граниты, плагиограниты, диориты; *8* — метасоматиты серицитолитовой формации; *9* — медноколчеданные залежи

испытавшими преобразования в условиях пренит-пумпеллитовой фации, которые не привели к существенным изменениям в составе, структурах и текстурах руд, околорудных метасоматитов и вмещающих пород.

Основное отличие обстановок второй группы — наклонное и круто наклонное залегание рудных тел с проявлениями динамометаморфизма в локальных зонах околорудного пространства.

К третьей группе принадлежат месторождения, рудные тела которых вследствие наложения интенсивных дислокаций обладают субвертикальным, запрокинутым и опрокинутым залеганием, а иногда оказываются смятыми в складки.

Четвертая группа месторождений объединяет объекты, на которых рудные тела сохраняют субгоризонтальное залегание, но интенсивно преобразованы контактовым воздействием гранитоидов.

Более сложному случаю преобразований отвечают месторождения пятой группы, на которых рудные тела и вмещающие породы испытали не только контактовый метаморфизм, но и значительные дислокации, вызвавшие существенные изменения в залегании рудных тел.

Шестую группу, мало распространенную и еще недостаточно изученную, представляют месторождения, рудные тела которых образованы при переотложении (регенерации) синвулканических залежей с накоплением сульфидов в новообразованных структурных элементах.

Различия в обстановках нахождения месторождений влияют на морфологию геохимических ореолов и распределение в околорудном пространстве элементов-примесей (рис. 14). Эндогенные ореолы медноколчеданных месторождений образованы элементами-индикаторами (Cu, Zn, Pb, Ba, Ag, Co, Mo, As) и второстепенными элементами (Hg, Au, Bi, Co, Sn, Ni, Mn). В объемной фигуре ореолов выделяются тыловые (подрудные) зоны, типовыми элементами-индикаторами которых служат Mo, Co, Cu, Bi; фронтальные (надрудные) с Ba, Pb, Ag, Zn и промежуточные (околорудные) комплексного состава с интенсивным развитием рудообразующих элементов (Cu, Zn).

Условия прогноза и поисков медноколчеданных месторождений определяются степенью соответствия конкретной геологической ситуации и типовой модели. Главные отклонения выражаются в изменении пространственных ориентировок рудных тел и вмещающих их пород. Изменения текстур, структур и состава пород, метасоматитов и руд также влияют на специфику ведения работ, но не меняют существа главных факторов, выступающих в качестве объектов прогноза и поисков. Вследствие этого, ситуации, отвечающие преобладающим вариантам условий ведения работ, описываются разной пространственной ориентировкой типовых моделей, что фактически выражается в разных положениях и ориентировке плоскостей эрозионного среза (рис. 15).

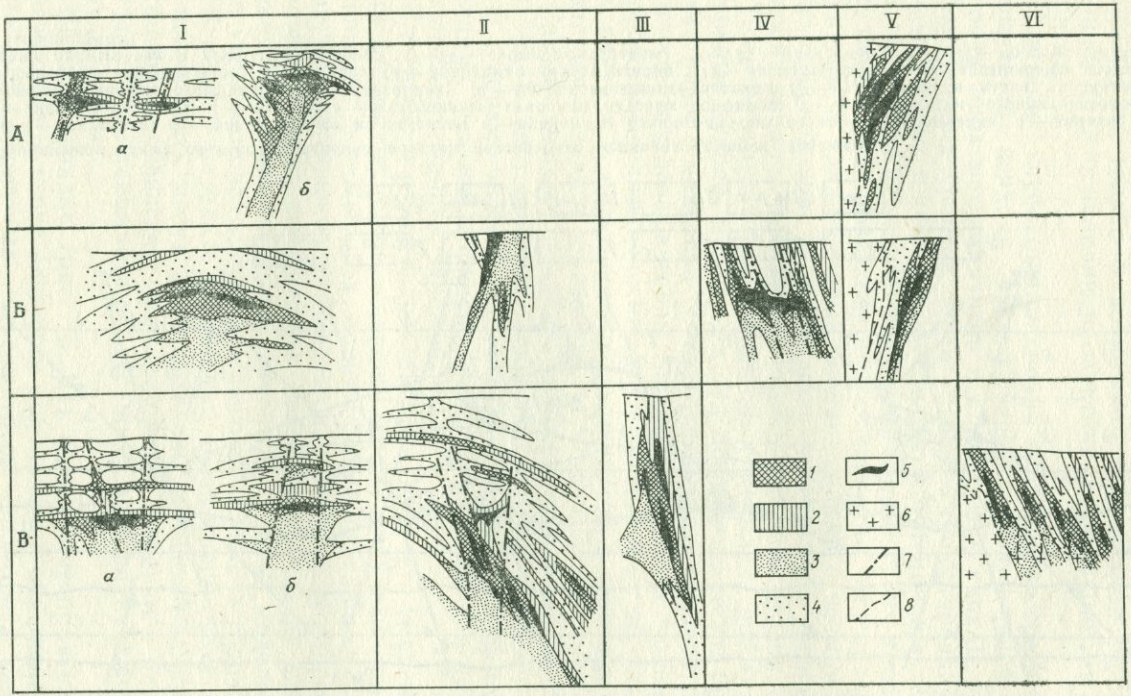


Рис. 14. Зависимость строения геохимических ореолов медноколчеданных месторождений от обстановок нахождения (смотри рис. 13):

1—4 — ореолы: *1* — комплексного состава (Cu+Zn+Pb+Co+Mo, Ba, Ag, As), *2* — фронтального типа (Pb, Zn, Ba, Cu, Co, Mo), *3* — тылового типа (Co, Mo, Zn, Pb, Ba), *4* — обедненного состава; *5* — медноколчеданные залежи; *6* — метасоматиты серицитолитовой формации; *7* — разрывные нарушения и пострудные дайки; *8* — литологические границы

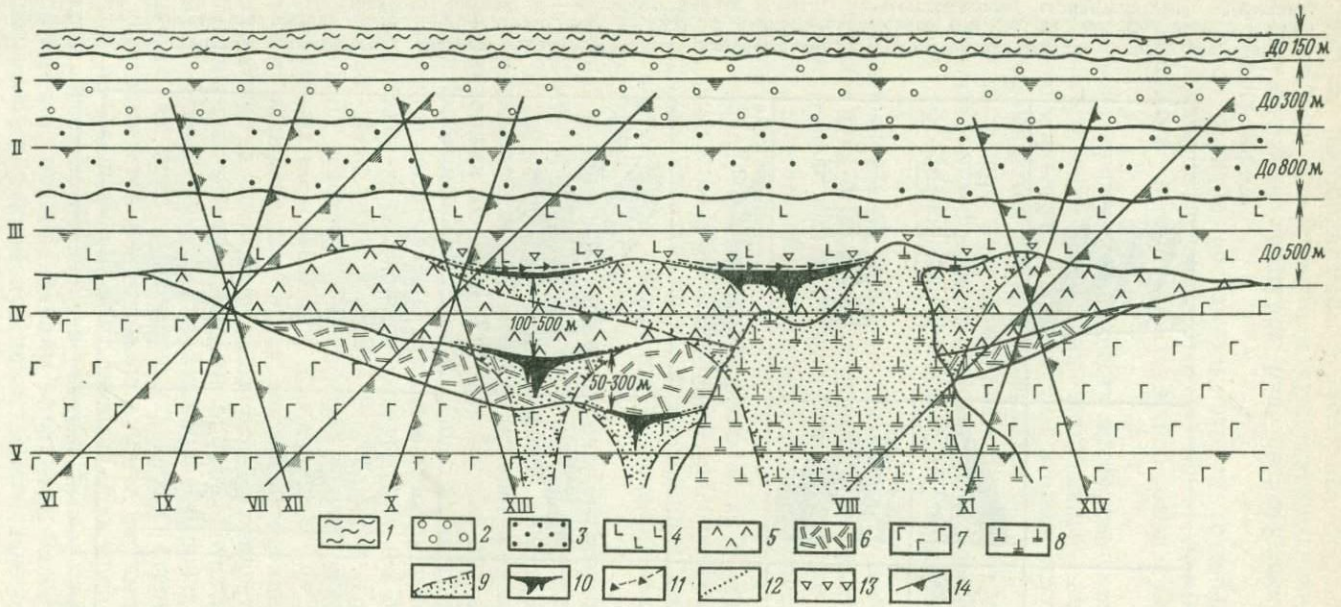


Рис. 15. Обобщенная схема обстановок ведения поисков перекрытых медноколчеданных залежей

1 — наносы; *2* — граувакки; *3* — вулканогенные молассоиды; *4* — вулканиты базальт-андезит-базальтовой формации; *5* — дациты; *6* — андезито-дациты; *7* — андезито-базальты и базальты; *8* — экструзивные купола риолитовых порфиров; *9* — метасоматиты серицитолитовой формации с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией; *10* — медноколчеданные залежи; *11* — рудокласты в пачках вулканомиктовых пород; *12* — послойная вкрапленность сульфидов; *13* — надрудная гематитизация; *14* — варианты положения эрозионного среза при различном залегании рудных тел и вмещающих пород (I—IV — субгоризонтальном, V—VII — наклонном, VIII—X — крутом близвертикальном, XI—XIV — запрокинутом)

Первая группа обстановок отвечает субгоризонтальному залеганию рудовмещающих пород и руд. При первых двух вариантах положения эрозионного среза (рис. 15, I и II) на поверхность выведены различные по возрасту и составу толщи, перекрывающие продуктивную формацию и обычно не несущие информации не только о возможном присутствии рудных тел на глубине, но и о наличии продуктивных формаций на нижних горизонтах.

При более глубоком положении эрозионного среза (рис. 15, III) вскрывается верхняя часть разреза продуктивной формации, включая зоны метасоматитов и подводящие каналы для залежей самых верхних уровней (если таковые существовали). 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 залежей вблизи вскрытых эрозией рудоподводящих каналов рудных тел самого верхнего уровня.

Тела метасоматитов в подобных каналах, рассекающих экструзивные купола, массивных руд обычно не несут. Наиболее информативны в подобной обстановке 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.

Самый нижний вариант положения эрозионного среза (см. рис. 15.I) соответствует вскрытию глубоких частей подрудных толщ с зонами метасоматитов серицитолитовой формации, фиксирующими положение рудоподводящих каналов для уничтоженных эрозией колчеданных залежей.

Вторая группа обстановок отвечает умеренно наклонному залеганию рудовмещающих пород и рудных тел с преобразованиями в локальных зонах. Такие обстановки более благоприятны для поисков и обнаружения скрытых месторождений, поскольку уровень эрозионного среза обеспечивает выведение на дневную поверхность ряда элементов типовой модели, позволяющих уверенно определять перспективы глубоких горизонтов.

В первом варианте положения эрозионного среза (рис. 15, V) на поверхность могут быть выведены рудоконтролирующие литолого-стратиграфические подразделения и уровни в благоприятных случаях с вулканомиктами, несущими сульфидную вкрапленность и рудокласты.

Шестой вариант (рис. 15, VI) 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 очевидна перспективность глубоких (по падению) литолого-стратиграфических подразделений и уровней.

Менее определенны перспективы при восьмом варианте положения эрозионного среза. Хотя на дневную поверхность выходят те же элементы, что и в шестом варианте, прослеживание по падению рудоконтролирующих литолого-стратиграфических подразделений и уровней в такой обстановке не может привести к обнаружению рудных тел.

В третьей группе обстановок возможные варианты положения эрозионного среза отвечают крутонаклонному и обратному залеганию рудовмещающих пород и рудных тел с интенсивным динамометаморфизмом. Во всех случаях поверхности эрозионного среза соответствуют плоскостям крутонаклонных продольных разрезов вулканогенных толщ и обеспечивают ограниченную информацию об их изменчивости по первичной латерали.

Варианты VIII—X (см. рис. 15) принципиально не отличаются от вариантов V—VII. На эрозионный срез выводятся те же элементы, но отличающиеся определенными преобразованиями и иными углами падения. То же может быть отмечено для вариантов XI—XIII, аналогичных вариантам V—VII, но в обстановках запрокинутого и опрокинутого залегания вулканитов и рудных тел.

Требования к результатам работ по стадиям геологоразведочного процесса

Общие поиски. 1. Постановка работ этой стадии допускается лишь в пределах потенциальных рудных районов, выделенных при работах предыдущих стадий геологоразведочного процесса и отвечающих полям развития потенциально колчеданоносных вулканитов контрастной (риолит-базальтовой) и непрерывной (базальт-андезит-дацит-риолитовой) формаций с установленными признаками рудоносности.

Предшествующими работами должно быть проведено структурно-формационное районирование эвгеосинклинальных областей, выделение вулканогенных формаций, оконтуривание ареалов их распространения с установлением потенциально колчеданоносных, выявление участков с надрудным положением эрозионного среза, установление площадей развития увеличенных мощностей дифференциатов колчеданоносных формаций. В случае перекрытого залегания продуктивных формаций должны быть определены мощности перекрывающих и захоранивающих толщ.

Цель общих поисков — выявление потенциальных рудных полей, совпадающих по площади с палеовулканическими сооружениями или вулкано-структурами с преимущественным развитием кислых и умеренно кислых составляющих контрастной и непрерывной вулканогенных формаций, представленных туфовыми, лавовыми, реже субвулканическими фациями.

В результате работ стадии должна быть получена информация об объемном строении рудных районов (до глубин экономически целесообразного опоискования), включая распределение в их пре-

делах рудоносных вулканогенных формаций, ареалов распространения их кремнекислых дифференциатов, позицию потенциально рудоносных палеовулканических сооружений и рудовмещающих структур, определение пространственного положения потенциально рудоносных уровней.

Работы стадии, проведенные в полном объеме, должны обеспечивать установление положения потенциальных рудных полей и выявление прогнозных ресурсов категории P_2.

2. Предпроектный прогноз включает: определение формационного типа ожидаемого колчеданного оруденения, анализ материалов предварительной оценки возможной продуктивности района; выделение в потенциальном рудном районе по комплексу признаков наиболее перспективных площадей с целью рациональной концентрации и очередности поисковых работ; разбивку перспективных площадей по степени перспективности и требуемым видам работ для определения предварительной их стоимости, очередности и сроков проведения.

Поисковые работы. 1. Работы этой стадии проводятся в контурах потенциальных рудных полей, определяемых ареалами развития рудовмещающих дифференциатов продуктивных формаций.

Цель работ — выделение перспективных участков в пределах разреза продуктивных толщ путем обнаружения рудоконтролирующих структур и комплекса прямых поисковых признаков, а также выявления минерализованных зон и рудных подсечений.

В результате проведения поисковых работ должны быть выделены перспективные участки с разбивкой их по очередности освоения и видам необходимых поисково-оценочных работ, а также определены прогнозные ресурсы по категории P_2+P_1.

2. Предпроектный прогноз включает: выделение на площади потенциального рудного поля наиболее перспективных по комплексу признаков участков; разбивку этих участков по очередности изучения и видам поисковых работ (в первую очередь выделяются участки с относительного неглубоко залегающим рудовмещающим разрезом и с установленными признаками колчеданоносности); определение возможных масштабов и глубин залегания ожидаемого оруденения.

Комплексирование работ при поисках

Общая последовательность работ по прогнозу и поискам скрытых медноколчеданных месторождений при соблюдении принципов последовательного приближения и соответствия отражена на схеме (рис. 16) в виде основного варианта ведения работ.

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

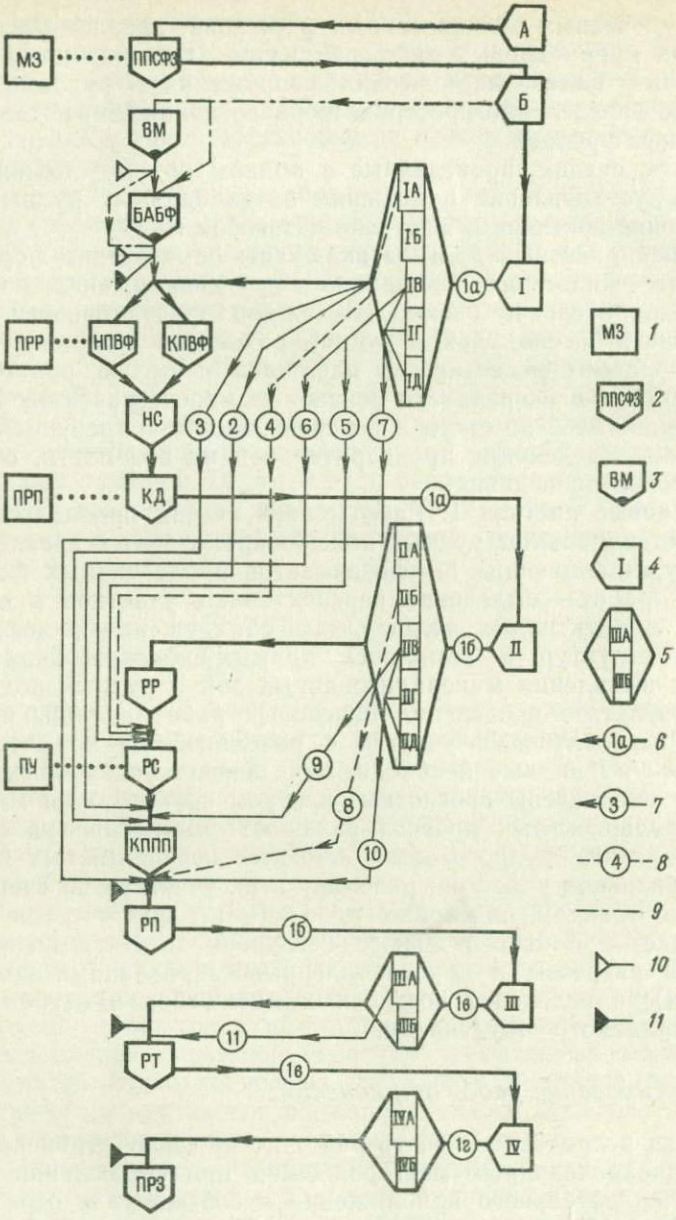


Рис. 16. Схема рационального комплексирования работ по поискам скрытых медноколчеданных месторождений (на примере Южного Урала):

1 — металлогенические категории, эквивалентные геологическим объектам: МЗ — металлогенические зоны; ПРР — потенциальный рудный район или его части; ПРП — потенциальное рудное поле; ПУ — перспективный участок; *2—3* — объекты и цели поисков соответствующих стадий и подстадий (*2* — основные, *3* — промежуточные): ППСФЗ — потенциально-перспективные части колчеданоносных структурно-формационных зон; ВМ — вулканогенные молассоиды; БАБФ — базальт-андезито-базальтовая формация; НПВФ — непрерывная про-

с того отрезка процесса, началу которого отвечает выявление объекта прогноза или поисков предшествующей стадии.

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 практикой работ.

При субгоризонтальном залегании вулканогенных толщ площади оконтуренных и детально изученных рудных полей варьируют от 1,8 до 6,5 км^2 при среднем значении — 3,2 км^2. Их доля от опоискованных частей рудных районов составляет соответственно от 6 до 16 %, в среднем — около 14 %. Формы рудных полей близки к прямоугольным с соотношениями величин осей около 1 : 2. Из приведенных данных для сходных условий рассчитаны следующие значения площадей рудных полей (в км): минимальное — 1×1,9; максимальное — 1,8×3,5; среднее — 1,3×2,5. Такие значения могут быть приняты в качестве исходных для оценки эффективности поисковой сети с различными параметрами.

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 может меняться от 500 до 1500 м.

На первой подстадии при сети скважин 5—10×1—1,5 км возможен как пропуск рудных полей, так и обнару-

---

дуктивная вулканогенная формация; КПВФ — контрастная продуктивная вулканогенная формация; НС — надрудное положение эрозионного среза; КД — поля развития кислых дифференциатов; РР — рудоконтролирующие части разреза; РС — рудоконтролирующие структуры; КППП — комплекс прямых поисковых признаков; РП — рудопроявления (рудные пересечения); РТ — рудные тела; ПРЗ — промышленные рудные залежи; *4* — стадии и подстадии работ: А — прогнозные исследования масштаба 1 : 200 000 — 1 : 50 000; Б — анализ обстановок ведения поисков; I — геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 с общими поисками (либо глубинное геолого-геофизическое доизучение); II — поисковые работы; III — поисково-оценочные работы; IV — предварительная разведка; *5* — виды и методы работ.

Подстадия I : IA — обработка материалов магнитометрических и гравиметрических съемок масштаба 1 : 50 000 с построением карт локальных аномалий с радиусом осреднения 3—5 км; IБ — сейсморазведка (метод отраженных волн — МОВ) по профилям через 5—10 км; IВ — проходка структурных скважин глубиной 1000—1200 м через 1—1,5 км в сейсморазведочных профилях; IГ — геохимическое опробование палеозойских отложений; IД — скважинные геофизические исследования (метод заряженного тела МЗТ в варианте «большого заряда»).

Подстадия II : IIA — магниторазведка и гравиразведка масштаба 1 : 10 000 с построением карт локальных аномалий с радиусом осреднения 0,5—1 км; IIБ — сейсморазведка (МОВ) по профилям через 2—3 км; IIВ — проходка структурно-поисковых скважин глубиной 1000—1200 м по сети 500×1000—1000×1500 м; IIГ — геохимическое опробование полезойских отложений; IIД — скважинные геофизические исследования (МЗТ).

Подстадия III: IIIA — проходка поисково-оценочных скважин по сети, обеспечивающей оконтуривание рудных тел и получение по части из них запасов категории C_2 и ресурсов категории P_1; IIIБ — скважинные геофизические исследования (МЗТ, ДЭМПС, РИЗ, РВП). Стадия IV; IVA — проходка скважин по сети, обеспечивающей получение по части рудных тел запасов категорий C_1 и C_2; IVБ — скважинные геофизические исследования (МЗТ, ДЭМПС, РИЗ, РВП, МПТС);

6 — основной вариант ведения поисков и его отрезки; *7* — сокращенные варианты ведения поисков и их отрезки; *8* — сокращенные варианты ведения поисков с риском получения негативных или неопределенных результатов; *9* — варианты обстановок ведения поисков; *10* — значительные мощности перекрывающих отложений; *11* — отсутствие объекта поисков на площади ведения работ

жение их признаков в одиночных профилях либо в одиночных скважинах. Надежность такой сети повышается при использовании метода заряженного тела, обеспечивающего в обычном варианте обнаружение рудных тел на расстоянии в 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 либо значительно больше площадей рудных тел.

На второй подстадии при сети скважин 2—3×1—1,5 и 0,5—1×1—1,5 км возможны пропуски между профилями рудных полей с минимальными площадями и уверенное их обнаружение в профилях. Постановка метода заряженного тела при благоприятных условиях может обеспечить не только решение задач данной подстадии, но и установление позиции возможных рудных тел.

При крутом залегании рудовмещающих вулканогенных толщ полные площади развития кислых вулканитов на поверхностях накопления и, соответственно, площади рудных полей не поддаются достоверной оценке. В такой обстановке площади ряда хорошо изученных рудных полей, определенные в проекциях ареалов развития кислых вулканитов на поверхность напластования, меняются от 0,6 до 2,5 км^2 (в среднем — 1,8 км^2); соотношение длин по падению и по простиранию близко 1 : 4. Соответствующие величины, полученные расчетом, составляют (в км): минимум 0,4×1,5; максимум 0,8×3; среднее 0,65×2,8. При расстояниях между профилями структурно-поисковых скважин, принятых для первой подстадии 5—10 км, возможен пропуск рудных полей всех категорий, на второй подстадии — лишь рудных полей с минимальными площадями.

С учетом современных геолого-экономических условий целесообразно прослеживание потенциально рудоносных уровней до глубины 1000—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). Для первой и второй подстадий расстояния между скважинами в профилях определяются в 500—600 м (по напластованию).

Сокращенные варианты прогнозно-поискового комплекса

Схема прогнозно-поискового комплекса содержит 10 вариантов сокращенного ведения работ (2—11 на схеме), дополняющих основной (1а — г на сехеме) вариант. Их использование основано на возможном решении методами ранних стадий (подстадий) задач последующих стадий (подстадий) в связи с высокой инфор-

мативностью 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, выполняемого с использованием табл. 22. Каждый из сокращен-

Таблица 22

Выявляемость объектов поисков различными методами при прогнозе и поисках скрытых медноколчеданных месторождений

Стадии и подстадии	Виды и методы работ	Цели работ, выявляемые объекты и факторы										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	IА	×	×	×		К		К				
	IБ	+				К		К				
	IВ	+	+	+	+	0	0	0	0	0		
	IГ		×	×	×	К			К			
	IД					К			К			
По комплексу работ подстадии I		+	+	+	+	+	0	0	0	0		
II	IIА							×	×	К		
	IIБ							×	0	К		
	IIВ							+	+	0	0	
	IIГ							×		К		
	IIД								×	К		
По комплексу работ подстадии II												
III	IIIА								+	+	0	
	IIIБ								×			
	IIIВ								×		К	
По комплексу работ подстадии III									+	+	0	
IV	IVА									+		
	IVБ									×		
По комплексу работ подстадии IV										+		
V	VА										×	
	VБ											
По комплексу работ подстадии											+	

Примечания. Опознаваемость объектов поисков: (+) — в любых обстановках одним методом; (×) — в комплексе с другими методами; (О) — в благоприятных обстановках одним методом; (К) — в комплексе с другими методами. 2—12 — цели работ, выявляемые объекты и факторы; нумерация соответствует схеме.

ных 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.

Необходимо решительно 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.

Месторождения медистых песчаников и сланцев

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Медистые песчаники и сланцы принадлежат к группе месторождений, которые устойчиво ассоциируют с терригенными, карбонатно-терригенными и реже вулканогенно-осадочными толщами красноцветных (пестроцветных) формаций [33, 44].

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 по особенностям литологического строения меденосных пород (преобладание псаммитовых либо алевритовых и известковисто-алевритовых разновидностей) месторождения подразделяются на два типа — медистых песчаников и сланцев [33].

Наиболее типичные представители месторождений медистых песчаников — Джезказганское и Удоканское (СССР), медистых сланцев — Мансфельдское (ГДР) и Предсудетской моноклинали (ПНР).

Оруденение этого типа проявлено почти во всех периодах геологической истории (от докембрия до неогена включительно), но крупные и уникальные месторождения известны только в протерозое и верхнем палеозое. Они характерны для рудных провинций, приуроченных к краевым частям платформ, внутриплатформенным прогибам — авлакогенам, к посторогенным наложенным впадинам и предгорным прогибам внешних поясов складчатых областей.

Классификация месторождений медистых песчаников и сланцев, учитывающая их геотектоническое положение, литолого-фациальные типы рудовмещающих отложений и характерные особенности медного оруденения, приведены в табл. 23.

На площадях меденосных провинций месторождения и рудопроявления нередко бывают сгруппированы в протяженные зоны, прямолинейные или изогнутые в плане. Наиболее богатое ору-

Таблица 23

Классификация медистых песчаников и сланцев [46]

Характерные признаки типов	Типы медистых песчаников и сланцев			
	замбийский	джезказганский	манфельдский	каргалинский
1. Геотектонический режим	Орогенный	Орогенный	Платформенный	
2. Господствующая направленность тектонических движений при седиментации	Трансгрессия с ее начальным, средним и поздним этапами	Регрессия с начальным, средним и поздним этапами	Трансгрессия	Регрессия
3. Литолого-фациальные типы рудовмещающих отложений	Грубообломочные континентальные и прибрежно-морские на начальном, песчано-глинистые прибрежно- и мелководно-морские на среднем, глинисто-карбонатные и карбонатные морские мелководные на позднем этапе трансгрессии	Песчано-алевролитовые заливно-мелководные на начальном, песчаные дельтовые на среднем и песчано-глинистые континентально-лагунные и наземно-дельтовые на позднем этапе регрессии	Терригенно- и глинисто-карбонатные заливно-лагунные и прибрежно-морские	Терригенные (грубообломочные; песчано-глинистые) континентальные (наземно-дельтовые, озерно-пойменные) на приморских и наземных аллювиальных равнинах
4. Характерные особенности медного оруденения	От редкой вкрапленности до протяженных рудоносных горизонтов с пластовыми, линзовидными рудными телами с мощностью до первых метров, хорошо проявлена зональность	От рассеянной минерализации до рудоносных толщ с мощностью в несколько километров. Рудные тела линзовидно-пластовой, ленточной и пластовой формы мощностью от первых до десятков метров протягиваются на первые километры	Рудные горизонты мощностью до 3 м прослеживаются на десятки и сотни километров, характерна зональность в распределении меди, свинца, цинка, четкая связь с автохтонной органикой	Невыдержанные горизонты линзовидной и лентообразной формы, рудные прослойки мощностью до первых метров, зональность выражена слабо, связь с крупными остатками растительной и животных

денение относительно приближено к палеоподнятиям, служившим источником обломочного материала рудовмещающих осадочных толщ.

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. 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 (умеренный аридный климат) в переходных зонах от континентального к морскому осадконакоплению.

В вертикальных и латеральных формационных рядах меденосные пестроцветные толщи обнаруживают парагенетическую связь с эвапорит-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 резко подчиненным значением гравелитов, конгломератов, глинистых и карбонатных пород или с преобладающим глинисто-карбонатно-песчаным и глинисто-карбонатным составом разрезов меденосных отложений; по обстановкам осадконакопления — представляющие 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: континентальные, подводно-дельтовые, заливно-лагунные, прибрежно-морские.

Осадочные породы, слагающие меденосные геологические формации, представлены всеми разностями, обычными для красноцветных толщ: песчаниками, гравелитами, конгломератами, алевролитами, аргиллитами, мергелями, доломитами, известняками. В регионах с проявлениями вулканизма развиты также туфопесчаники, туфы и эффузивы.

Песчаники, составляющие главную массу отложений меденосных формаций, характеризуются сравнительно невысокой степенью дифференцированности состава и размера обломочного материала и представлены в основном полимиктовыми разностями, охватывающими по гранулометрическому составу все классы — от алевритистых до крупнозернистых. В обломочных зернах преобладают кварц и полевые шпаты. Среди минералов тяжелой фракции распространены циркон, турмалин, апатит, амфиболы, пироксены, эпидот, гранат, сфен, рутил, ильменит, анатаз, магнетит, гематит. Цемент глинистый, кремнистый, известко-

вистый и смешанный. В олигомиктовых песчаниках, имеющих подчиненное значение, преобладает обломочный кварц.

Алевролиты состоят из тех же, что и песчаники, обломочных компонентов, рассеянных в глинистой и карбонатно-глинистой массе. Размер зерен 0,005—0,01 мм. 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, обычно содержат примеси песчаного материала. Конгломераты и гравелиты, содержащие окатанную и угловатую гальку осадочных метаморфических и магматических пород, сцементированную песчаником, отмечены в составе меденосных формаций во многих регионах.

В строении разрезов меденосных формаций отчетливо выражена ритмичность, проявляющаяся в многократной периодической повторяемости по вертикали пачек пород с определенными литолого-фациальными характеристиками (ритмов); выделяются ритмы различных порядков: от крупных — мощностью в десятки и сотни метров, до более мелких — мощностью в первые метры.

Типичные особенности медистых отложений — наличие размывов в основании ритмов и поверхностей усыхания (трещины высыхания, такыры) в верхних частях, а также разнообразие типов слоистости — от горизонтальной до косой, свидетельствующее о частой смене гидродинамических условий осадконакопления; нередко встречаются текстуры подводных оползней, воздушных карманов, остатки организмов и обугленные растительные остатки, псевдоморфозы по кристаллам гипса и ангидрита.

Пестроцветность разрезов, обусловленная переслаиванием осадочных пород с различными оттенками красного (за счет тонкораспыленных или пленочных соединений окисного железа, главным образом гематита) и серого (с преобладающим закисным железом) цвета — весьма характерная особенность меденосных формаций.

Осадочные породы древних (докембрийских) меденосных формаций превращены в различные сланцы, кварциты, кварцитовидные песчаники, в значительной степени утратившие красную окраску за счет перехода окисного железа в закисную форму.

Толщи терригенно-осадочных пород, слагающие меденосные геологические формации, достигают весьма значительных мощностей, особенно в авлакогенах, межгорных прогибах и наложенных впадинах. В Кодаро-Удоканском прогибе, например, мощность меденосной толщи составляет примерно 9,5 тыс. м, в авлакогене Медного пояса Замбии-Заира — 1000 м, в Тениз-Сарысуйской впадине Центрального Казахстана — порядка 1000 м, а в наложенной мульде в пределах Кабульского блока ДРА — 880 м (Айнакское месторождение). В платформенных чехлах мощности рудоносных формаций сокращаются до десятков и первых сотен метров.

Меденосные провинции обычно охватывают всю территорию распространения одновозрастных или разновозрастных меденосных формаций либо ее часть. При этом медистые отложения могут прослеживаться 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) обусловливают выделение меденосных зон и районов. Последние составляют части меденосных зон и ограничиваются структурами второго и более высоких порядков (синклинории, синклинали, мульды, антиклинали), в строении которых установлены меденосные отложения, а также площади распространения благоприятных для меденакопления фациальных комплексов осадков.

Геологические основы прогноза месторождений медистых песчаников и сланцев базируются на их приуроченности к пестроцветным отложениям, накапливающимся в особых геотектонических и палеогеографических условиях областей денудации и седиментогенеза. Во многих рудных провинциях меденосные пестроцветные формации неоднократно повторяются в разрезах осадочных толщ, медистые песчаники и сланцы встречаются на нескольких стратиграфических уровнях, причем вертикальный размах развития медного оруденения может быть весьма значительным.

В разрезах красноцветных толщ медистые отложения залегают в основании либо в средних и верхних их частях, фиксируя начальные этапы возобновления тектонической активности или периоды затухания тектонических движений. Накопление меденосных осадков происходит как при трансгрессивных, так и при регрессивных режимах седиментации, но всегда с четко выраженной связью оруденения с определенными фациальными комплексами отложений.

Медное оруденение локализуется преимущественно в терригенных и глинисто-терригенно-карбонатных осадках прибрежно-морской зоны заливов и лагун, включающих нередко и накопления подводнодельтовых выносов [31, 42]. По латерали в сторону континента меденосные отложения фациально замещаются безрудными красноцветами, а в направлении углубления палеобассейна — карбонатно-терригенными сероцветами, также не содержащими медного оруденения.

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). Медистые сланцы обычно приурочены к одному определенному горизонту (ярусу) и располагаются в нижних частях разреза

трансгрессивных фаций непосредственно выше красноцветов или на породах фундамента. Рудные тела, сложенные медистыми песчаниками, проявляются многоярусно и располагаются в отношении друг к другу кулисообразно.

Для медистых песчаников и сланцев в целом весьма характерно зональное размещение основных рудообразующих минералов. По масштабам проявления различают региональную и локальную зональность.

Региональная зональность охватывает крупные по площади рудные районы и меденосные зоны, в которых наблюдается последовательная смена одного минерала другим по латерали соответственно с развитием бассейнов седиментации в прямой зависимости от области питания. В вертикальных разрезах региональная зональность проявляется в значительных по мощности осадочных сериях и свитах.

Локальная зональность установлена, как правило, в отдельных рудных телах и залежах различных по масштабу месторождений. В зависимости от литолого-фациальных условий, тектонического режима развития бассейнов седиментации и геохимической среды минералообразования выделяется [46] зональность четырех основных типов (от почвы к кровле):

пирит-халькопирит-борнит-халькозин (тип Роан-Антелоп);

халькозин-борнит-халькопирит-пирит (тип Чамбиши);

халькозин-борнит-халькопирит-пирит (джезказганский тип);

халькозин - борнит - халькопирит - пирит - халькопирит - борнит-халькозин (удоканский тип) (рис. 17).

Основные рудоконтролирующие факторы для месторождений типа медистых песчаников и сланцев — стратиграфический, палеогеографический, палеотектонический, литологический и минералого-геохимический [31].

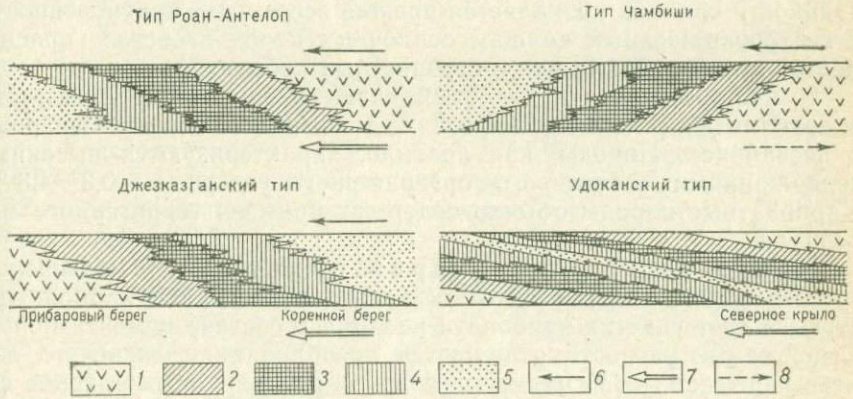


Рис. 17. Типы зональности в медистых песчаниках и сланцах (проекция на вертикальную плоскость) [25]:

1—5 — рудные зоны (*1* — безрудная — гидроокислы и окислы железа, *2* — халькозиновая, *3* — борнитовая, *4* — халькопиритовая, *5* — пиритовая); *6* — направление сноса рудного материала; *7* — регрессия водоема; *8* — трансгрессия водоема

Стратиграфический контроль оруденения четко проявлен как в региональном плане, что дает возможность выделить наиболее благоприятные для нахождения месторождений меди геологические эпохи, так и локально, в конкретных рудных провинциях, зонах, рудных узлах и полях. В последнем случае широко распространены медистые отложения, образующие стратиграфически выдержанные меденосные горизонты. 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 (характер климата и рельефа) в областях седиментогенеза и денудации — важные рудоконтролирующие факторы, поскольку с ними связаны особенности формирования и размещения по вертикали и латерали пестроцветных толщ рудоносных фациальных комплексов отложений, тип и масштабы оруденения.

Месторождения медистых сланцев локализуются в заливно-лагунных и мелководных прибрежно-морских осадках, отлагавшихся в трансгрессивную стадию развития палеобассейна. Обычно они приурочены к различным впадинам морского дна типа конседиментационных мульд.

Крупные месторождения медистых песчаников также встречаются в прибрежно-морских обстановках и локализуются в сложносочетающихся фациальных комплексах подводно-дельтовых и заливно-лагунных отложений, накапливавшихся главным образом в регрессивную фазу развития палеобассейна.

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 остаточного органического углерода — 0,3—4,3 %. Карбонатные породы обычно содержат примеси терригенного материала.

Петрохимические характеристики меденосных толщ в целом отличаются относительно повышенной карбонатностью за счет участия карбоната кальция в составе цемента пород. Сероцветные разности отличаются преобладанием закисного железа над окисным. В медистых породах ряда крупных районов содержание натрия преобладает над содержанием калия (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 ме-

дистых песчаниках характеризуется теми же пределами (0,4—0,8), которые устанавливаются для пород средней и верхней частей разреза удоканской серии, независимо от их рудоносности. По сравнению со сланцами медистые песчаники содержат меньше остаточного органического углерода — 0,02—0,50 % [42].

Минералого-геохимический контроль оруденения определяет на месторождениях первичную минеральную и геохимическую зональности, т. е. закономерную смену по латерали и мощности меденосных горизонтов минеральных и промышленных типов руд.

Зональность может быть горизонтальная и вертикальная, прямая, обратная и концентрическая.

Месторождения медистых песчаников и сланцев в последние годы рассматриваются в качестве продуктов деятельности захороненных, артезианских либо нефтяных вод, выносящих вещество из обломочных рудоносных толщ и концентрирующих его на тех или иных барьерах.

А. М. Лурье и И. Ф. Габлина в число условий, необходимых для возникновения промышленных концентраций меди, вводят следующие: наличие подстилающих красноцветов (источник меди); фильтрация подземных вод через красноцветы с выщелачиванием из них меди; накопление сероводородсодержащих илов (геохимический барьер) в зоне разгрузки подземных вод. Очевидно, что красноцветы — последнее звено в цепи источников, включающих объекты области сноса и предшествующие процессам последнего носители концентраций меди любого происхождения.

Обобщение информации позволяет вывести ряд накопления элементов в месторождения типа медистых песчаников и сланцев и определить предельные концентрации рудообразующих компонентов: Te — 3,1 %; Ag — 190 г/т; Bi — 19 %; Sc — 50 г/т; Pb — 1,44 %; Cu — 3,20 %; As — 850 г/т; Cd — 44 %; Mo — 330 г/т; Zn — 1,83 %; Sb — 47 г/т; S — 2,3 %; V — 0,1 %; Co — 160 г/т; Ni — 150 г/т; Fe — 2,74 %; Ti — 0,23 %.

По данным А. Ф. Лурье и И. Ф. Габлиной, исходные содержания в красноцветах Fe — 5,3 %, Cu — 0,04 %, а вынесенные — в 1,7 и 0,02 % соответственно. При очевидной предварительной обогащенности красноцветов медью извлечение ее составляет 50 %, а железа около 30 %.

Предельное содержание меди в рудах (3,2 %) и вынесенные ее концентрации (0,02 %) позволяют считать отношение масс источник — руда 160 : 1. Растворимость меди оценивается в широком диапазоне — от 0,003 до 0,2 г/т. При растворимости около 0,1 г/т масса растворов должна превышать массу руды не менее чем в $n \cdot 10^5$ раз. Такое содержание меди в растворах может обеспечить экстракцию ее выносимых концентраций не менее чем за 2000 обменов вод в системе. Расчетная масса вод, одновременно находящихся в системе, относится к массе руды на уровне $n \cdot 10^2 : 1$.

Реальная обстановка нахождения месторождений типа медистых песчаников не вводит каких-либо ограничений в отношении масс источников и вод и времени их взаимодействия. Длительное существование однонаправленного потока элизионных вод, сопряженного с теми или иными геохимическими барьерами в области разгрузки, не требует допущения для реализации рассматриваемой схемы рудогенеза каких-либо экстремальных содержаний меди в источнике.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Месторождения медистых песчаников и сланцев располагаются в весьма различных геолого-структурных и ландшафтных обстановках. Медистые сланцы в чехлах палеозойских платформ характеризуются широким площадным распространением при сравнительно небольших мощностях рудоносных горизонтов и залеганием, близким к горизонтальному. Глубины залегания рудных залежей относительно современного эрозионного среза сохраняются на больших площадях.

В докембрийских авлакогенах с рудовмещающими толщами, подвергшимися складчатости, рудные горизонты медистых песчаников и сланцев участвуют в строении складчатых структур, синклиналей и антиклиналей.

В наложенных прогибах внешних поясов складчатых областей месторождения медистых песчаников бывают приурочены к участкам периклинального замыкания и крыльям брахиантиклиналей (Джезказган и Джиландинская группа месторождений), а также к центральным частям синклиналей.

По положению относительно поверхности современного эрозионного среза различаются рудные объекты, выходящие непосредственно на дневную поверхность, скрытые под чехлом рыхлых образований различной мощности, а также не выходящие на дневную поверхность и перекрытые нерудоносными осадочными или вулканогенно-осадочными формациями, либо рудные объекты с обнажающимися и скрытыми под наносами отложениями меденосных формаций, не содержащими на выходах оруденения, но в составе которых на глубоких горизонтах установлены или предполагаются рудные залежи.

В целом обстановки нахождения месторождений и ведения поисков относятся к трем основным типам: приподнятые и эродированные в различной степени чехлы докембрийских платформ и складчатые области с наклонным, часто достаточно крутым залеганием пород рудоносных формаций и заключенных в них рудоносных горизонтов; районы платформ с двухъярусным строением, представленным осадочным чехлом с субгоризонтальным залеганием рудоносных формаций и рудных горизонтов и складчатым основанием, составляющим нижний структурный этап; закрытые районы с развитием мощного покрова четвертичных рыхлых отложений.

Требования к результатам работ по стадиям геологоразведочного процесса

Общие поиски. Постановка и проведение работ этой стадии базируются на анализе материалов стадии регионального геологического изучения территории СССР, основной задачей которой являлось выявление потенциальных рудных районов с признаками меденосности в разрезах красноцветных толщ, выполняющих межгорные впадины-прогибы, сформировавшиеся в заключительные стадии геосинклинального развития, различных форм активизации платформенного развития складчатых областей либо краевые и внутренние прогибы платформ.

Цель работ стадии — выявление потенциальных рудных полей, приуроченных к конседиментационным структурам, осложняющим краевые части крупных наложенных прогибов и мульд, сложенных пестроцветными терригенными образованиями мелководно-морских, заливно-лагунных и подводно-дельтовых фаций пород.

Общие поиски включают проведение комплексных структурно-формационных и литолого-фациальных исследований, обеспечивающих уточнение площади распространения пород продуктивной формации с определением мощности и условий залегания меденосных горизонтов.

Предпроектный прогноз этой стадии общих специализированных поисков предусматривает разбраковку потенциально рудоносных конседиментационных структур, выполненных пестроцветными терригенными образованиями, с целью выделения участков для постановки поисковых и поисково-оценочных работ.

В результате проведения работ данной стадии должны быть составлены геологическая и прогнозная карты в масштабе 1 : 50 000 с выделением потенциальных рудных полей и перспективных участков и оценкой их прогнозных ресурсов по категории P_2.

Поисковые работы. Проведение поисковых работ, направленных на прослеживание и оконтуривание выявленных предшествующими работами меденосных горизонтов, предусматривается лишь на площадях, где масштаб выполнения работ общих поисков не обеспечивает возможности полной расшифровки геологического строения потенциальных рудных полей и обнаружения в их пределах прогнозируемых объектов.

Основная задача поисковых работ — выявление и оконтуривание в составе разрезов терригенных пестроцветных отложений, представленных благоприятными для меденакопления комплексами фаций переходных зон между континентальными и морскими отложениями с признаками меденосности; определение условий залегания, мощности и характера распределения в пределах зон полезных компонентов; обоснование перспективности отдельных участков для постановки поисково-оценочных работ.

Решение поставленных задач стадии базируется на проведе-

нии геолого-геофизического и литолого-фациального картирования, обеспечивающего выявление структурных, стратиграфических, палеогеографических и минералого-геохимических рудоконтролирующих факторов и выполнение необходимых объемов картировочного и поискового бурения с комплексом карротажных работ и детальным геохимическим опробованием.

В результате проведения указанных работ для изученной территории должна быть составлена схематическая геологическая карта масштаба 1 : 10 000 и прогнозная карта-накладка с выделением на ней перспективных на промышленные руды локальных участков и оценкой их прогнозных ресурсов по категориям P_2—P_1.

Предпроектный прогноз рассматриваемой стадии, отраженный на прогнозной карте-накладке, включает оценку продуктивности потенциальных рудных полей, возможных масштабов ожидаемого оруденения, глубины и условия залегания рудоносных горизонтов и разбивку потенциально перспективных участков по очередности их освоения с выполнением необходимых видов и объемов работ.

Поисково-оценочные работы. Постановка работ поисково-оценочной стадии базируется на анализе материалов и разбраковке выделенных в результате выполнения предыдущих исследований прогнозных участков по степени перспективности и очередности их освоения.

В задачу проведенных работ этой стадии входит определение условий залегания и прослеживания в пределах потенциальных рудных полей, меденосных стратиграфических уровней и локальных участков промышленного оруденения и оценка их прогнозных ресурсов по категории P_1 и частично запасов категории C_2.

Работы поисково-оценочной стадии включают проходку скважин картировочного и поисково-разведочного бурения, необходимые объемы горных выработок, обеспечивающих решение задач подстадии, применение наземных методов магнито- и электроразведки и комплекса методов скважинной геофизики для опоискования и оценки около- и межскважинного пространства, проведение детальных геохимических исследований. Работы сопровождаются детальными минералогическими и лабораторными исследованиями технологических свойств и качества руд с целью определения промышленной значимости выявленного оруденения.

В результате проведенных исследований для изучаемой территории должны быть составлены схематическая геологическая, литолого-фациальная и палеотектоническая карты с продольными и поперечными разрезами и погоризонтными планами, отражающими объемное изображение перспективного участка до уровня, экономически обоснованного для опоискования. Масштаб карт определяется размерами и сложностью изучаемого объекта (1 : 10 000—1 : 1 000).

Предпроектный прогноз стадии поисково-оценочных работ предусматривает разбраковку выделенных в результате предыдущих исследований прогнозных участков по степени перспективно-

сти и очередности освоения, выполнение необходимых видов и объемов работ и определение ожидаемых затрат, обеспечивающих выделение месторождений под предварительную разведку.

Комплексирование работ при поисках

Схема рационального комплексирования геологических, геофизических, геохимических и технических методов и методик при общих поисках и поисковых работах на месторождениях медистых песчаников и сланцев, выполняемых в сочетании с геологическими съемками разных масштабов, приведена в табл. 24.

Месторождения второстепенных геолого-промышленных типов

Из девяти известных геолого-промышленных типов месторождений меди (см. табл. 13) в группу второстепенных входят пять: железо-медный в габброидах; карбонатитовый; скарновый; кварц-сульфидный (жильный); самородной меди. Доля каждого в общих запасах меди как в СССР, так и в развитых капиталистических и развивающихся странах, не превышает 2,3 %. Доля их в добыче металла в два раза выше — около 11 %. Промышленно значимые представители двух типов месторождений — карбонатитового и самородной меди — в СССР не известны.

В связи с невысоким значением второстепенных геолого-промышленных типов месторождений в запасах и добыче меди прогнозирование их на стадии регионального геологического изучения территории СССР нецелесообразно. Соответственно и организуемые по результатам такого прогноза общие поиски на второстепенные геолого-промышленные типы месторождений также не выполняются. Однако рудопроявления этих типов нередко выявляются и оцениваются попутно при геологосъемочных работах разных масштабов либо при специализированных поисках на месторождения ведущих геолого-промышленных типов месторождений меди или других видов полезных ископаемых (железа, золота, редких металлов и др.). В случае положительной оценки рудопроявлений (с подсчетом прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2) при необходимости организуются специализированные поисковые работы для определения потенциальных перспектив всего рудного поля, включающего положительно оцененное рудопроявление (потенциальное месторождение).

Поисковые работы на месторождениях второстепенных геолого-промышленных типов могут выполняться также в пределах рудных полей известных разрабатываемых или разведанных месторождений этих типов для установления возможностей расширения сырьевой базы меди действующих либо намечаемых к строительству горнодобывающих предприятий с оценкой прогнозных ресурсов соответствующих рудных полей по категориям P_2 и P_1 и выделением перспективных участков для постановки более детальных работ поисково-оценочной стадии.

Таблица 24

Схема комплексирования методов при геологосъемочных работах с общими поисками, поисковых и поисково-оценочных работах на месторождениях медистых песчаников и сланцев

Задачи работ и объекты, подлежащие обнаружению	Методы работ в очередности их постановки																	
	Дешифрирование аэрофотоснимков (цветных и спектрозональных)	Геологическое и литолого-фациальное картирование	Картировочное бурение	Поверхностные горные выработки	Геохимические поиски				Гравиметрическая съемка	Магнитометрическая съемка (аэро- и наземные методы)	Сейсморазведка	Электроразведка			Структурно-поисковое бурение	Методы скважинной геофизики		
					литохимические	шлихо-минералогические	гидрохимические	биогеохимические				ВП	ВЭЗ	МПП		МТЗ	РВП	ЧИМ
Оконтуривание участков распространения пестроцветных отложений мелководно-морских, заливно-лагунных и подводно-дельтовых фаций	±	+	+	+					±	±	±				+			
Определение мощности и условий залегания потенциально продуктивных фаций пород		+	±	±						±					+			
Выявление меденосных горизонтов		+	+	+	+	±	±	±				±	±	±	+			+
Определение мощности и условий залегания меденосных горизонтов		+	+	+							±				+			±
Обнаружение в пределах меденосных горизонтов рудных тел с кондиционными рудами и предварительная оценка их масштабов		+	+	+	+							±	±	±		±	±	+
Выявление минеральной и геохимической зональности		+	+	+	+										±			±

Примечания: + — метод, обеспечивающий решение задачи работ; ± — результаты работ, допускающих неоднозначную интерпретацию.

Таким образом, для постановки поисковых работ на месторождениях второстепенных геолого-промышленных типов необходимое условие — наличие на намечаемой к изучению площади промышленных месторождений или положительно оцененных рудопроявлений типов, по которым определены как прогнозные ресурсы категории P_1, так и запасы категорий C_2 и C_1 (для разрабатываемых или детально разведанных месторождений). Это условие является положительным фактором, так как проведение поисковых и поисково-оценочных работ на других участках рудного поля существенно облегчается в связи с возможностью широкого использования фактических материалов и опыта изучения заведомо промышленных объектов аналогичного типа.

Железо-медные месторождения в габброидах

Месторождения этого типа ассоциируют с дифференцированными габброидными интрузивами, формирующимися на ранних стадиях развития эвгеосинклиналей. Основными поисковыми предпосылками таких месторождений являются: пространственная и генетическая связь оруденения с дифференцированными массивами основных (и ультраосновных) пород; залегание промышленного оруденения в пределах самих массивов, преимущественно в наиболее кислых дифференциатах, реже во вмещающих породах; закономерная пространственная связь титаномагнетитового и медного оруденения; прожилково-вкрапленный тип медной минерализации, постепенные переходы между промышленным оруденением и минерализованными вмещающими породами, достаточно крупные размеры рудных тел и их преимущественно плоская линзообразная форма; комплексный состав руд; возможность выщелачивания и выноса меди из рудных тел на выходах их на поверхность.

Основные задачи поисковых работ в рациональной последовательности их решения сводятся к следующему:

оконтуривание потенциально рудоносных массивов габброидов;

установление в их пределах признаков расслоенности и выделение наиболее кислых дифференциатов;

выявление медной минерализации и установление ее принадлежности к железо-медному прожилково-вкрапленному типу.

Для решения указанных задач на стадии поисковых работ необходимо проведение геологической съемки масштаба 1 : 10 000—1 : 5 000, а также геохимических (по первичным и вторичным ореолам рассеяния) и геофизических (магнито- и электрометрических) работ того же масштаба. Кроме того, необходимо использовать материалы аэрофотосъемок и предшествующих аэрогеофизических исследований более мелких масштабов.

Потенциально рудоносные массивы габброидов удовлетворительно оконтуриваются в процессе детальной геологической съемки. Для установления их расслоенности и состава дифферен-

циатов необходимо выполнение специальных исследований, включающих наблюдения за элементами прототектоники массивов, массовый отбор и изучение шлифов по опорным линиям с определением количественного соотношения и состава темноцветных минералов и плагиоклазов и замерами состава (номеров) последних. Особенное внимание должно уделяться периферийным и фланговым частям массивов, в пределах которых возможно максимальное проявление наиболее кислых дифференциатов габброидов.

Признаками наличия железо-медного оруденения являются четкие магнитометрические аномалии, имеющие удлинение, согласное с направлением расслоенности массивов, в сочетании с электрометрическими (методы вызванной поляризации или естественного поля) аномалиями, совпадающими с магнитометрическими или смещенными в сторону наиболее кислых дифференциатов габброидов, а также литогеохимические аномалии меди по первичным или вторичным ореолам.

В пределах зоны окисления титаномагнетитовое оруденение удовлетворительно сохраняется и легко картируется, а медное может быть в значительной мере выщелочено. Признаками медного оруденения являются примазки окисленных минералов меди (малахита, азурита, хризоколлы) среди ожелезненных каолинизированных пород. Для оценки зоны окисления необходима проходка поверхностных горных выработок (канав и шурфов), а также учет опыта изучения аналогичных рудопроявлений (месторождений), известных в пределах рудного поля.

На стадии поисково-оценочных работ производится приближенное оконтуривание наиболее крупных рудных тел и изучение содержаний в них полезных компонентов. С этой целью осуществляется вскрытие и прослеживание рудных тел (аномалий) на выходах через 50—100 м по простиранию с помощью канав, шурфов и картировочных скважин.

С целью приближенного установления глубины распространения зоны окисления, проверки наличия (отсутствия) зоны вторичного сульфидного обогащения и определения уровня содержаний и характера проявления меди в первичных рудах в опорных профилях бурят несколько скважин колонкового бурения глубиной до 150 м. Для наиболее крупных рудных тел разбуривается один—два опорных профиля, расстояние между которыми принимается с учетом предполагаемой их длины по простиранию (по данным геологического картирования, геохимических и геофизических исследований). Расстояние между скважинами в профилях выбирается с учетом предполагаемого характера и глубины распространения зоны окисления по аналогии с известными объектами.

На основании полученных данных подсчитываются прогнозные ресурсы категории P_1, а по участкам, примыкающим к опорным профилям, — запасы категории C_2.

Карбонатитовые месторождения

Карбонатитовые месторождения обычно располагаются в краевых частях платформ и контролируются зонами активизированных разломов.

На примере месторождения Палабора (ЮАР) поисковые предпосылки меденосных карбонатитов определяются приуроченностью к сложным интрузивным комплексам центрального типа с концентрически-зональным строением.

Центральную (ядерную) часть комплексов занимают карбонатиты, периферическую — ультраосновные-щелочные породы, далее следуют фениты — характерные измененные вмещающие породы, обогащенные калием и натрием. Форма карбонатитового тела трубообразная, залегание вертикальное, размер в поперечнике 0,5—0,7 км. Руды комплексные, помимо меди содержат магнетит, минералы радиоактивных и редкоземельных элементов, флогопит, апатит и другие полезные компоненты. Медные минералы образуют прожилки и вкрапленность, концентрируются в виде выдержанных крутопадающих полос.

Поскольку сульфидная медная минерализация характерна не для всех, а только для отдельных карбонатитовых массивов, поисковыми признаками медного оруденения в карбонатитах могут считаться лишь прямые находки медных минералов и литогеохимические аномалии меди.

Уже на стадии общих поисков карбонатитовые массивы легко обнаруживаются по магнито- и радиометрическим аномалиям и хорошо картируются характерным сочетанием ультраосновных-щелочных пород и зон фенитизации. Поэтому при детальных геологических съемках на стадии поисковых работ основное внимание уделяется расшифровке внутреннего строения карбонатитоносных интрузивных комплексов и выделению в их пределах участков, наиболее перспективных на определенную группу полезных компонентов, в том числе и на медь.

При оценке меденосности карбонатитов следует учитывать возможность существенного обогащения их медью в пределах зоны окисления, так как медь, освобождающаяся при разложении сульфидов, в карбонатной среде легко фиксируется в виде малахита и азурита. Это обусловливает необходимость на стадии поисково-оценочных работ обязательного полного пересечения зоны окисления и вскрытия первичных сульфидных руд. С этой целью карбонатитовое тело разбуривают на глубину 100—150 м в одном или двух взаимоперпендикулярных профилях. Учитывая крутое, как правило, падение обогащенных сульфидами полос внутри карбонатитового тела, поисково-оценочные скважины колонкового бурения следует располагать наклонно (под углом около 45°), а расстояние между ними выбирать с учетом необходимости получения полного «перекрытого» разреза оруденелого карбонатитового тела. При наличии промышленного медного оруденения бурения таких скважин обеспечивает возможность при-

ближенного оконтуривания и оценки перспектив оруденения с подсчетом прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2.

Скарновые месторождения

Скарновые месторождения меди обычно формируются в связи с позднегеосинклинальными или орогенными интрузиями гранитоидов.

Поисковыми предпосылками и признаками месторождений этого типа являются:

пространственная связь с интрузивами гранодиоритов, плагиогранитов и плагиосиенитов;

обычное залегание промышленных рудных тел в известковых скарнах экзоконтактовой зоны интрузивов гранитоидов, развивающихся как непосредственно на контакте карбонатных и терригенно-карбонатных пород с интрузивами, так и на некотором (сотни метров) удалении от интрузивов на границе алюмосиликатных и карбонатных пород;

пространственное сочетание сульфидного медного и магнетитового оруденения;

закономерная смена при удалении от интрузивного контакта халькопирит-магнетитовых руд халькопирит-пирротиновыми и халькопирит-пиритовыми;

наличие сплошных и прожилково-вкрапленных разновидностей руд, весьма неравномерное и прерывистое распределение медного оруденения;

преимущественно небольшие (обычно тысячи — первые десятки тысяч кубических метров) размеры рудных тел, их сложная пласто-, линзо-, столбо- и гнездообразная форма;

возможность накопления значительных количеств вторичных карбонатов меди в приповерхностной части зоны окисления, существенной деформации и обогащения рудных тел на выходах.

Рациональная последовательность задач, решаемых на стадии поисковых работ, следующая:

оконтуривание массивов гранитоидов перспективного профиля, прослеживание их контактов;

выделение в разрезе вмещающих интрузивы толщ благоприятных для скарнирования горизонтов (пачек) карбонатных и терригенно-карбонатных пород, оконтуривание участков их сочленения с интрузивами;

вскрытие перспективно рудоносной скарновой зоны.

Решение указанных задач достигается проведением геологической съемки масштаба 1 : 50 000 в сочетании с детальными геохимическими и геофизическими (магнито- и электрометрическими) работами. При этом опорные линии должны ориентироваться примерно перпендикулярно контактам интрузивных массивов.

При картировании контактов интрузивов и выделении перспективных участков их сочленения с карбонатными и терри-

генно-карбонатными породами существенную помощь могут оказать данные магнитометрических исследований.

Прямыми признаками медного оруденения являются визуально наблюдаемые на выходах скарнов скопления окисленных минералов меди и геохимические (по вторичным и первичным ореолам) аномалии с ее повышенными содержаниями. За счет обильного развития вторичных минералов меди в приповерхностной зоне возможно значительное искажение формы и размеров выходов рудных тел, а также смещение ареалов распространения вторичных минералов (и вторичных геохимических ореолов) вниз по склону. Вскрытие выходов производится канавами, шурфами и картировочными скважинами по линиям, ориентированным вкрест интрузивных контактов.

Для оценки выявленных проявлений меди на стадии поисково-оценочных работ необходимо приближенное оконтуривание перспективно рудоносной скарновой зоны, выявление в ее пределах наиболее крупных рудных тел, установление насыщенности скарновой зоны меднорудной минерализацией, вскрытие и прослеживание наиболее крупных рудных тел по простиранию и на глубину с помощью канав, шурфов с рассечками, в отдельных случаях штолен и буровых скважин. Расстояние между прослеживающими выработками по простиранию рудных тел и их падению в опорных разрезах обычно принимается не более 50 м.

Приближенное установление глубины распространения зоны окисления и вскрытия первичных сульфидных руд — непременное условие правильной оценки выявленных проявлений скарнового типа. Особенного внимания заслуживает изучение вещественного состава руд, установление важнейших попутных компонентов (золота, серебра, железа магнетитового и др.) и проверка возможности комплексной переработки руд.

Прогнозные ресурсы категории P_1 оцениваются в основном по участкам, по которым имеется возможность подсчитать запасы категории C_2. Важное значение при оценке перспектив выявленных участков имеет опыт изучения известных в пределах рудного поля месторождений и рудопроявлений этого типа.

Кварц-сульфидные (жильные) месторождения

Месторождения меди жильного типа весьма разнообразны как по геологическому положению, так и по минеральному и вещественному составу руд. Большая их часть располагается в пределах массивов гранитоидов или в полях развития умеренно кислых вулканитов; иногда они встречаются и среди осадочных или метаморфических пород. Отчетливая генетическая связь рудных жил с определенными интрузивными или вулканогенными образованиями обычно не устанавливается. Минеральный и вещественный состав руд также многообразен: от существенно медного до полиметаллического с повышенными содержаниями золота, серебра, висмута и других компонентов.

В то же время для всех жильных месторождений характерен четкий контроль оруденения разрывными нарушениями и приуроченность промышленного оруденения к одной-двум главным системам трещин. Рудные жилы нередко сопровождаются зонами прожилково-вкрапленного оруденения, а сближенные жилы группируются в достаточно протяженные жильные зоны.

Соответственно и основа предпосылок выявления жильных месторождений на стадии общих поисков — определение разрывных структур, контролирующих размещение главных рудовмещающих трещинных систем, а основная задача поисковых работ — выявление и прослеживание этих структур.

Для решения этой задачи используются методы детального структурного картирования перспективных площадей в масштабе 1 : 5 000—1 : 2 000 с использованием геофизических и геохимических методов для прослеживания разрывных структур и выявления рудных жил и жильных зон. При благоприятных условиях отдельные рудные жилы или группы сближенных жил могут фиксироваться литогеохимическими аномалиями с повышенными содержаниями меди и других сопутствующих компонентов, а также электроразведочными аномалиями методов комбинированного профилирования, отношения потенциалов (ИЖ), сверхдлинных волн (СДВ), вызванной поляризации (ВП), естественно поля (ЕП) и др.

Вскрытие рудных жил и жильных зон производится магистральными канавами вкрест простирания главных рудовмещающих трещинных систем, а их прослеживание — короткими поперечными канавами не реже, чем через 50 м. При этом необходимо систематическое изучение и опробование межжильного пространства на предмет выявления прожилково-вкрапленной минерализации во вмещающих породах.

На стадии поисково-оценочных работ наиболее крупные жилы и жильные зоны должны вскрываться на глубину серией скважин колонкового бурения, располагающихся в опорных профилях, расстояние между которыми выбирается с учетом протяженности жил по простиранию. По наиболее крупным жилам и жильным зонам, вскрытым на глубину, подсчитываются прогнозные ресурсы категории P_1 и запасы категории C_2, по другим жилам, вскрытым только с поверхности, — в основном по категории P_1.

Месторождения самородной меди

Поисковые предпосылки и признаки месторождений самородной меди с учетом геологических особенностей промышленных месторождений этого типа определяются их расположением в вулканогенных толщах, сложенных ритмичными сериями покровов базальтов и андезито-базальтов с прослоями конгломератов, многоярусностью оруденения, приуроченностью медной минерализации к наиболее проницаемым брекчированным верхним амигдалоидным частям лавовых покровов и конгломератов, пластообраз-

ной формой рудных тел, их согласным залеганием с вмещающими породами, большой протяженностью по простиранию (до 10 км) и падению при незначительной мощности (0,3—4,5 м).

Основная задача поисковых работ — вскрытие и детальное расчленение разреза потенциально меденосной толщи, выделение отдельных лавовых покровов и маркирующих горизонтов конгломератов, изучение верхних амигдалоидных частей лавовых покровов, степени их брекчированности и проницаемости, а также установление в них медной минерализации с последующим прослеживанием и опробованием наиболее выдержанных оруденелых горизонтов (рудных тел) на стадии поисково-оценочных работ редкой сетью разведочных выработок и сгущением последней на обогащенных участках до первых сотен метров между ними.

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВИНЦА И ЦИНКА

Колчеданно-полиметаллические месторождения в осадочно-вулканогенных толщах (рудноалтайского типа)

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

По геологическим и минералого-геохимическим особенностям металлогенические зоны, содержащие месторождения данного типа, подразделяются на следующие две разновидности: геосинклинальные (островодужные), наложенные на остаточные блоки срединных массивов, подобно Рудноалтайской; геосинклинальные (окраинноморские) чехла срединных массивов, подобно Юго-Западно-Гиссарской.

Металлогенические зоны обеих разновидностей контролируются раннегеосинклинальными вулканическими зонами, которые отражают последовательное уменьшение степени геосинклинального преобразования срединных массивов во вторичные геосинклинальные системы. Регенерация геосинклинального режима, целиком захватывающая площади массивов, не всегда завершается их полным уничтожением. Отдельные фрагменты и более крупные остаточные блоки в виде разобщенных глыб могут сохраниться в пределах геосинклинальных систем и перекрываться вулканогенными толщами.

Островодужные зоны формируются на коре переходного и континентального типа уже в раннюю стадию развития вторичных эвгеосинклинальных прогибов и характеризуются:

относительно крупными размерами, иногда соизмеримыми с размерами геосинклинальных систем (до нескольких сотен километров в длину); линейностью, кулисообразным расположением отдельных ветвей (подзон), обрамляющих фрагменты и остаточные блоки массивов с обеих сторон и состоящих из конседиментационных прогибов и поднятий;

наличием единых вулканогенно-осадочных серий пород, залегающих в виде мощного (до 5 000 м и более в прогибах) геосинклинального чехла раздробляющего массива;

широким развитием раннегеосинклинальных вулкано-плутонических ассоциаций, причем плутонические образования нередко слагают корни вулканических построек;

принадлежностью рудоносных толщ к контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации кали-натровой серии (характерное отношение K_2O/Na_2O в кремнекислых породах— 0,6—2,3);

тесной связью с палеозонами Беньофа, островодужными или окраинноморскими условиями формирования рудоносной контрастной формации (в зависимости от места заложения ветвей-подзон — во фронтальной или тыловой части отторгаемого фрагмента массива).

Рудоносная формация характеризуется: подводными (преимущественно мелководными) условиями отложения; парагенетическим набором фаций, типичных для ранних этапов развития островных дуг, заложенных на континентальной коре; широким развитием экструзивной формы проявления вулканизма, сочетанием трещинного и центрального типа извержений, широким развитием продуктов подводной гидротермальной деятельности. Фациальный состав кремнистых пород, образующих потоки лав, экструзивные купола, покровы туфов, горизонты туффитов разной размерности, субвулканические тела массивного и брекчиевого сложений, более разнообразен по сравнению с вулканитами последовательной формации месторождений малокавказского типа и более слабо дифференциированной существенно риолитоидной субформацией месторождений окраинноморских зон. По сравнению с последовательной формацией здесь еще больше увеличивается суммарная мощность кремнисто-карбонатно-терригенной составляющей рудоносной субформации.

Рудоносная формация формируется в островодужном и частично окраинноморском режиме, преимущественно на коре континентального типа мощностью свыше 40 км, в окраинных частях регенерированных срединных массивов.

Для разномасштабных рудных объектов выделены следующие геологические эквиваленты: рудные районы — краевые части остаточных геосинклинальных поднятий (остаточных блоков срединного массива) и одновременно прибортовые части наложенных геосинклинальных прогибов; рудные поля — локальные вулканогенные прогибы и поднятия со стратовулканами, экструзивными куполами и краевыми палеодепрессиями над расколами кристаллического фундамента; месторождения — локальные вулканические впадины, заполненные промежуточными и удаленными нередко кремнистыми фациями, на склонах стратовулканов, экструзивных куполов и в прибортовых частях краевых палеодепрессий.

Гидротермально-осадочные и гидротермально-метасоматические руды стратиформных месторождений сложены пиритом, сфа-

леритом, галенитом, халькопиритом, кварцем, серицитом, кальцитом, баритом, пирротином. Текстуры руд массивные, вкрапленные, полосчатые, слоистые брекчиевидные.

Окраинноморские зоны контролируются вулканическими зонами, образующими пятнисто-развитый чехол фундамента в краевых частях срединных массивов. Зоны формировались в процессе вовлечения в геосинклинальную переработку байкальских и более древних континентальных выступов основания геосинклинальных трогов.

Рудоносные вулканические зоны обладают относительно небольшими размерами, по простиранию обычно прослеживаются на десятки километров. Морфологической особенностью зон является их прерывистый характер; они нередко представляют собой цепочки наложенных прогибов, разделенных выступами фундамента срединных массивов. Размеры отдельных прогибов в поперечнике, как правило, не превышают 20 км. Прогибы имеют конседиментационную природу, что подтверждается соотношением фаций и мощностей заполняющих их вулканогенно-осадочных отложений. Мощность вулканогенно-осадочных толщ в центральных частях прогибов достигает нескольких километров, а в краевых уменьшается до нескольких сотен метров. В этом же направлении происходит смена менее грубообломочных фаций терригенных пород более грубообломочными.

Вулканические структуры стратовулканов или крупных экструзивных куполов тяготеют к центральным частям прогибов и контролируются расколами фундаментов массива. Отдельные складки и разрывы внутри прогибов имеют конседиментационное синвулканическое происхождение. Своими морфологическими особенностями они обязаны блоковым перемещениям кристаллического фундамента. Крупные складки имеют германотипный характер, приближаясь к брахиформным. Участки с мелкой напряженной складчатостью приразломного типа тяготеют к взбросам и надвигам.

Вулканогенно-осадочные толщи прогибов принадлежат к андезит-базальтсодержащей риолит-кремнисто-карбонатно-терригенной субформации контрастной формации. Преимущественный кремнекислый состав вулканитов субформации отражает влияние сиалического основания толщ, о чем свидетельствует принадлежность вулканитов к кали-натровой серии (характерное отношение K_2O/Na_2O в кремнекислых породах 2,2—2,4). Фтанитовые фации толщ в значительной степени также связаны с вулканической деятельностью. Карбонатные породы представлены доломитовыми фациями, которые от краевых частей прогибов к центральным сменяются рифово-известняковыми.

Накопление рудоносных толщ происходило в условиях неглубоких краевых морей. Рудные районы в пределах зон размещаются на участках сближенных локальных вулканогенных прогибов в краевых частях срединных массивов. Рудные поля приурочены к отдельным прогибам, где развиваются стратовулканы и

экструзивные купола над расколами фундамента срединного массива. Месторождения контролируются мелкими вулканическими впадинами, заполненными промежуточными и удаленными нередко кремнистыми фациями, находящимися в прибортовых частях вулканогенных прогибов.

Гидротермально-осадочные и гидротермально-метасоматические руды пластовых и комбинированных залежей сложены пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, блеклой рудой, кварцем, серицитом. Текстуры руд массивные, прожилковые, брекчиевидные, полосчатые, слоистые. Таким образом, окраинноморские полиметаллически-колчеданные зоны чехла срединных массивов относятся в основном к зонам рудноалтайского типа.

Обстановки нахождения полиметаллически-колчеданных, так же как и медноколчеданных и цинково-медноколчеданных, месторождений обусловлены сочетанием двух ведущих групп факторов — условий возникновения месторождений при раннегеосинклинальном вулканизме и характера и интенсивности преобразований месторождений при последующих тектоно-магматических процессах.

По условиям возникновения полиметаллически-колчеданных месторождений выделяются три типа обстановок, соответствующих трем типам рудных полей. Четко развитый формационный контроль в размещении оруденения заключается в приуроченности всех полиметаллически-колчеданных месторождений к площадям развития эйфельско-франской базальт-риолит-кремнисто-терригенной формации, причем каждая субформация характеризуется собственным металлогеническим профилем и сопоставляется с определенной субформацией медно-свинцово-цинково-колчеданной рудной формации.

К ареалам развития существенно натровой ($SiO_2 \approx 70$ %, $K_2O/Na_2O = 0{,}4$) субформации, обрамляющей блоки срединного массива со стороны палеоокеана, приурочены рудные поля с обогащенными медью месторождениями свинцово-медно-цинково-колчеданной субформации. Существенно калиевая ($SiO_2 \approx 70$ %, $K_2O/N_2O = 2{,}3$) субформация остаточных поднятий (реликтов массива) специализирована на обедненные медью рудные объекты свинцово-цинково-колчеданной субформации. С промежуточной по соотношению щелочей ($SiO_2 \approx 70$ %, $K_2O/N_2O \approx 1{,}2$) субформацией наложенных прогибов ассоциируют рудные поля с месторождениями медно-свинцово-цинково-колчеданной субформации.

Отложения рудоносной формации, перекрывающей рудовмещающие толщи, на месторождениях представлены лавами базальтового и риолитового состава, реже — карбонатными и терригенными отложениями. Рудовмещающие толщи образованы кремнистыми туффитами и туфами риолитового состава, а также туфоалевролитами и туфоаргиллитами. Отложения, подстилающие рудовмещающие толщи, обычно сложены риолитами, реже их туфами, алевролитами и аргиллитами, иногда графитсодержащими, а также метаморфизованными терригенными отложениями

субстрата рудоносной формации. Количество рудоконтролирующих литолого-стратиграфических уровней на месторождениях рудноалтайского подтипа обычно не больше двух.

Рудоконтролирующими и рудовмещающими палеоструктурами месторождений служат синвулканические депрессии на склонах стратовулканов и крупных экструзивных куполов, выполненные продуктами не только кислого, но и основного состава. Внутреннюю структуру таких депрессий определяют небольшие экструзивные и лавовые купола кислого состава, протяженные потоки, шлаковые конусы основных лав и мелкие впадины. Рудные тела месторождений связаны с начальными этапами развития структур и размещаются в локальных (1,5—2,0 км в поперечнике) впадинах, тяготеющих к склонам мелких экструзивных куполов. Формы рудных тел пластообразные, линзообразные, лентообразные и комбинированные (Т-образные) с развитием сплошных руд в висячем боку залежей и прожилково-вкрапленных — в лежачем. Для палеотектонической позиции рудных полей с месторождениями рудноалтайского типа характерна приуроченность к расколам кристаллического фундамента вторичногеосинклинальных прогибов. Кроме метасоматитов кварц-серицитовой формации в лежачем боку рудных залежей широко развиты околорудные гидротермально-осадочные породы — хлоритолиты, серицитолиты, кварциты, доломитолиты и др.

Гидротермально-осадочные околорудные породы и околорудные метасоматиты полиметаллически-колчеданных месторождений сопровождаются рудогенными геохимическими аномалиями — ореолами свинца, цинка, меди и других элементов. Рудогенные эндогенные ореолы обладают комплексом геохимических показателей, позволяющих отличать их от петрогенных и неколчеданных (связанных с непродуктивными рудными формациями) аномалий, и поэтому являются поисковыми признаками скрытого полиметаллически-колчеданного оруденения. Они отличаются зональным строением, которое определяется сочетанием зональности двух направлений: поперечной — асимметричной по отношению к рудным залежам и продольной. Зональности представлены следующим закономерно упорядоченным распределением элементов (в обобщенном виде от тыловых зон к фронтальным): W—Mo—Sn—Co—As_1—Bi—Cu_1—Zn, Cd—Pb—Cu_2, As_2—Ba—Hg [37].

Геохимические ореолы, фиксирующие гидротермально-осадочные околорудные породы и стратиформные залежи, лучше всего изучены на медноколчеданных месторождениях Урала и Северного Кавказа. В целом для них характерны пластообразная форма, резко асимметричная поперечная и латеральная концентрическая зональность, отсутствие или локальность проявлений концентраций элементов-индикаторов в надрудной толще. Такие ореолы иногда вместе с рудными залежами рассекаются послерудными разрывами и испытывают вдоль них перемещения.

Вулкано-тектонические структуры, образованные породами рудоносной контрастной формации, их кристаллическое основание

в виде раздробленного фундамента срединных массивов, разрывы в фундаменте и чехле, околорудные породы, метасоматиты и руды создают аномалии различных естественных и наведенных физических полей, которые могут быть разделены на две группы:

1) аномалии гравитационного, магнитного и электрического полей и волнового поля упругих колебаний, отражающие вулкано-тектонические (в том числе разрывные) структуры — геофизические предпосылки поисков полиметаллически-колчеданного оруденения;

2) аномалии магнитного, гравитационного и электрического полей, соответствующие суммарным физическим эффектам от околорудных пород, метасоматитов и руд, — геофизические поисковые признаки полиметаллически-колчеданного оруденения.

Крупные экструзивные купола и стратовулканы, к склонам которых иногда приурочены месторождения, в гравитационном поле отмечаются минимумами небольшой интенсивности. В целом повышенное магнитное поле на таких участках нередко обладает кольцевым строением, обусловленным кольцеобразным расположением максимумов более высокого порядка, и подчеркивает концентрическое размещение габбро-диабазов.

Вулканические структуры рудных полей в гравитационном поле выражаются чаще всего максимумами небольшой интенсивности и переходными зонами от повышенных значений Δg к пониженным.

Послойные синвулканические разрывы обычно фиксируются зонами повышенных горизонтальных градиентов силы тяжести или гравитационными ступенями, а иногда границами аномальных полей Δg и ΔT_a с резко различной морфологией и напряженностью. Скрытые разломы догеосинклинального фундамента, также нередко рудоконтролирующие, отображаются смещением в плане региональных аномалий и исчезновением корреляции локальных аномалий Δg и ΔT_a. Приподнятые и опущенные блоки фундамента выделяются по данным сейсморазведочного метода отраженных волн (МОВ) и совпадают с локальными максимумами и минимумами Δg.

Околорудные породы с повышенным содержанием кремнезема отличаются повышенным электрическим сопротивлением, а вкрапленность пирита увеличивает их поляризуемость. В электрическом поле участки, сложенные околорудными породами, отмечаются локальными максимумами ρk, в плане совпадающими с аномалиями ВП, а иногда и с линейно вытянутыми минимумами ΔZ_a магнитного поля.

Разномасштабные рудоносные зоны, месторождения и отдельные рудные залежи вместе с околорудными породами отражаются комбинацией локальных аномалий ВП, ЕП, МПП, ЧИМ, а также аномалий электрического поля, выделенных с помощью методов каротажа скважин (КСПК, ЕЭП, МЭК, ДЭМПС, РВП, метод заряда).

Таким образом, размещение рудных объектов в металлогени-

ческих зонах рудноалтайского типа подчинено формационному, стратиграфическому, литолого-фациальному и структурному контролю. Руды сопровождаются и фиксируются гидротермально-осадочными околорудными породами, околорудными метасоматитами, геохимическими и геофизическими аномалиями.

Формационный контроль в размещении оруденения заключается в приуроченности всех полиметаллически-колчеданных месторождений к площади развития контрастной базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации, причем каждая субформация этой формации характеризуется своим металлогеническим профилем и связана с определенной субформацией медно-свинцово-цинково-колчеданной рудной формации. К ареалам развития существенно натровой субформации, обрамляющей фрагменты срединного массива со стороны палеоокеана, приурочены обогащенные медью месторождения свинцово-медно-цинково-колчеданной субформации. Кали-натровая существенно риолитоидная субформация остаточных поднятий (фрагментов срединного массива) специализирована на обедненные медью рудные объекты свинцово-цинково-колчеданной субформации. С терригенно-базальт-риолитовой субформацией наложенных прогибов ассоциируют месторождения медно-свинцово-цинково-колчеданной субформации.

Стратиграфический контроль обусловлен определенным стратиграфическим положением различных субформаций рудоносной контрастной формации.

Литолого-фациальный контроль выражается в преимущественной локализации руд в пластах тонкого чередования туфогенных алевролитов, аргиллитов, кремнистых туффитов и туфопесчаников, которые слагают промежуточные и удаленные фации девонских вулканических сооружений. При этом особенно благоприятны для размещения оруденения кремнистые (фтанитовые) фации.

Структурный контроль полиметаллически-колчеданного оруденения состоит в преимущественном размещении рудных полей в конседиментационных прогибах или поднятиях второго порядка.

Месторождения в пределах рудных полей контролируются вулкано-тектоническими структурами третьего порядка — мелкими экструзивными куполами, вулканическими впадинами, синвулканическими разрывами.

Рудные залежи сопровождаются околорудными гидротермально-осадочными «фтанитами», серицитолитами, хлоритолитами, доломитолитами и кварц-серицитовыми и карбонатно-хлоритовыми метасоматитами кварц-серицитовой метасоматической формации.

Околорудные породы, метасоматиты и руды фиксируются геохимическими зональными ореолами свинца, цинка, меди и других элементов пластообразной, сложной изометричной и лентовидной формы.

Геофизическими предпосылками поисков полиметаллически-колчеданного оруденения являются аномалии гравитационного, магнитного и электрического полей и волнового поля упругих колебаний, отвечающие вулкано-тектоническим (в том числе разрывным) структурам.

Геофизическими поисковыми признаками служат аномалии магнитного, гравитационного и электрического полей, отвечающие суммарным физическим эффектам от околорудных пород, метасоматитов и руд.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Обстановки нахождения полиметаллически-колчеданных месторождений рудноалтайского типа, формирующиеся в процессе становления существенно натровой, промежуточной и существенно калиевой (по соотношению щелочей) субформации контрастной формации, в результате более поздних тектоно-магматических процессов подвергаются преобразованиям различной интенсивности.

Разнообразные отклонения реальных обстановок нахождения рудных объектов от обстановок их возникновения (например, на Рудном Алтае) наиболее четко проявлены в двух вариантах. Первый — преобразования слабой интенсивности: на месторождениях сохраняется субгоризонтальное либо слабо наклонное залегание рудных тел и отмечается низкая интенсивность изменений руд, метасоматитов и вмещающих пород. Второй вариант соответствует более интенсивным преобразованиям: месторождения представлены наклонными и крутопадающими рудными телами, испытавшими вместе с метасоматитами и вмещающими породами динамометаморфические преобразования в пределах зон рассланцевания; метаморфизм рудоносных субформаций, как правило, не выше зеленосланцевой фации. Обстановки нахождения месторождений здесь определяются сочетанием указанных выше трех обстановок возникновения и двух обстановок последующих преобразований (рис. 18).

Изученные детально на Рудном Алтае геохимические ореолы гидротермально-метасоматических рудных тел (подводящих каналов гидротермально-осадочных залежей) и сложные ореолы, образующиеся в результате суммарного эффекта пластовых вулканогенно-осадочных и секущих метасоматических руд, обладают сложной изометричной или лентовидной формой и асимметричной вертикальной зональностью. По данным А. А. Головина и других исследователей, выделяются блоковые, каркасные и линейные ореолы.

Блоковые ореолы фиксируют рудные залежи, смятые в относительно пологие складки или находящиеся на их крыльях, т. е. они отвечают второму типу преобразования месторождений. Блоковая форма ореолов определяется их локализацией внутри

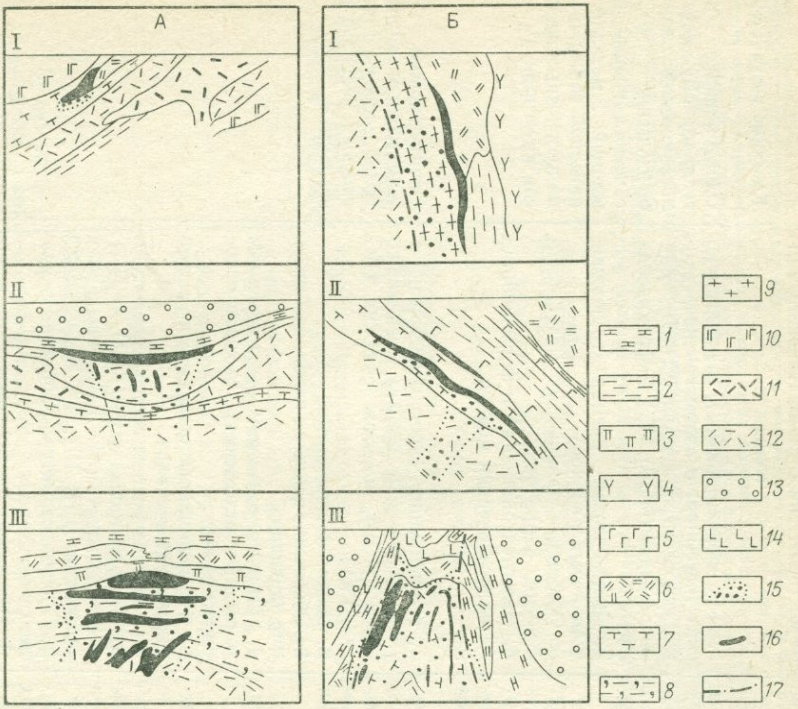


Рис. 18. Обстановки нахождения колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. По Е. И. Филатову, И. П. Пугачевой, И. В. Крейтер.

Перекрывающие образования колчеданоносных субформаций: *1* — известковистые алевролиты, *2* — алевролиты, *3* — туфогенно-осадочные породы, *4* — туфы смешанного состава, *5* — вулканиты основного состава, *6* — экструзивно-жерловые вулканиты кислого состава; рудовмещающие образования: *7* — туфогенно-осадочные породы, *8* — углисто-кремнистые алевролиты, *9* — алевролиты, *10* — основные вулканиты, *11* — кислые вулканиты жерловой и экструзивной фаций, *12* — кислые вулканиты покровной фации, *13* — терригенные образования перекрывающей формации, *14* — габбро-диабазы, *15* — метасоматиты кварц-серицитовой формации, *16* — рудные тела, *17* — разломы.

Месторождения: А — слабо дислоцированные и слабо преобразованные, Б — интенсивно дислоцированные и преобразованные (I — свинцово-медно-цинково-колчеданные, II — медно-свинцово-цинково-колчеданные, III — свинцово-цинково-колчеданные)

рудовмещающих блоков, ограниченных системой ортогональных или диагональных крутопадающих разрывов. Геохимические поля комплексного состава обычно приурочены к разрывным нарушениям, ограничивающим блок; при локализации рудных тел на крыльях складок ореолы расположены в стороне от горизонтальных проекций залежей. Если рудные тела выжаты в своды складок, их горизонтальные проекции на поверхности эрозионного среза совпадают с положением ореолов.

Каркасные ореолы развиваются в случае глубокого залегания рудных залежей, разбитых послерудными разрывами. Переотложенные ореолы фиксируют каркас поперечных и продольных пологих субсогласных и секущих крутопадающих разрывов, ограничивающих рудовмещающие блоки пород. На по-

Таблица 25
Схема рационального комплексирования работ по прогнозу и поискам месторождений рудноалтайского типа

Стадия, подстадия	Задачи	Методы	Конечные результаты
Региональные геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000)	1. Оконтуривание остаточных блоков срединного массива, преобразованных в остаточные геоантиклинальные поднятия, и наложенных геосинклинальных прогибов с ареалами развития рудоносной контрастной формации 2. Определение формационной принадлежности известных месторождений, рудопроявлений, метасоматитов 3. Составление схем структурно-формационного и металлогенического районирования	1. Для новых районов: гравиметрическая (наземная) и аэромагнитная съемки, аэроэлектроразведка (ЕЭМП), сейсморазведка (МОВ), ГСЗ; инфракрасная съемка 2. Геологическая съемка групповая (для новых районов) 3. Обобщение данных о глубинном строении территории 4. Палеотектонический и формационно-металлогенический анализ	Оконтуривание потенциальной металлогенической зоны, обоснование геологических границ известной металлогенической зоны, оценка прогнозных ресурсов категории P_3
Геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками	1. Оконтуривание краевых частей остаточных геоантиклинальных поднятий и наложенных геосинклинальных прогибов с ореолами развития натровой, промежуточной или калиевой субформации контрастной формации 2. Оконтуривание геофизических аномалий и геохимических ореолов 3. Уточнение границ локальных вулканогенных прогибов и поднятий со стратовулканами, экструзивными куполами и краевыми палеодепрессиями над расколами фундамента срединного массива 4. Уточнение границ развития промежуточных и удаленных нередко кремнистых фаций 5. Анализ геофизических, геохимических полей и их соотношений со структурными и фациальными границами	1. Комплексная аэрогеофизическая и гравиметрическая съемка, сейсморазведка (МОВ), каротаж скважин (КС, ПС, ГК) 2. Геологическая съемка 3. Обобщение данных о глубинном строении площади 4. Литологическая съемка по коренным и рыхлым отложениям, геохимическое опробование 5. Формационно-фациальный и палеоструктурный анализ 6. Аэрогамма-спектрометрическая съемка аэроэлектроразведка (ДИП, АМПП), электроразведка (ВП, ЕП), скважинная геофизика (ЕП, ВП, КСПК, ДЭМПС) 7. Бурение структурно-поисковых скважин 8. Геохимическое опробование керна скважин 9. Фациальный и палеоструктурный анализ	Оконтуривание потенциальных рудных полей, оценка прогнозных ресурсов категории P_2

Поисковые работы	1. Оконтуривание и выявление рудоносности локальных вулканических впадин, заполненных промежуточными и удаленными нередко кремнистыми фациями на склонах стратовулканов, экструзивных куполов, в прибортовых частях палеодепрессий 2. Выявление и оконтуривание околорудных пород, метасоматитов, геохимически зональных ореолов, геофизических аномалий, проявлений сульфидной минерализации	1. Геолого-структурная съемка 2. Гравиметрическая и магнитометрическая съемки, сейсморазведка (МОВ — при благоприятных геолого-геофизических условиях ведения работ), электроразведка (МПП, МРЗ), скважинная геофизика (ЕП, ВП, КСПК, ДЭМПС, РВП, МЗТ), каротаж (КС, МСК, МЭП, ПС, ГК), изучение петрофизических свойств горных пород 3. Литогеохимическая съемка по коренным породам, геохимическое опробование керна скважин 4. Бурение поисковых скважин 5. Фациальный и палеоструктурный анализ	Получение рудных подсечений, оценка прогнозных ресурсов категории P_2 и частично P_1
Поисково-оценочные работы	1. Разбраковка рудных подсечений (рудопроявлений), выбор потенциально промышленных месторождений, обоснование их геологических границ 2. Ориентировочная геометризация рудных тел 3. Оценка возможного промышленного значения выявленного месторождения с составлением технико-экономического обоснования целесообразности проведения предварительной разведки	1. Геолого-структурная съемка 2. Бурение поисково-оценочных скважин 3. Скважинная геофизика (РВП, ЕП, МЭК, КСПК, ДЭМПС), каротаж (КС, ПС, МЭП), изучение петрофизических свойств горных пород 4. Геохимическое опробование керна скважин 5. Опробование рудных подсечений 6. Изучение фациальных особенностей и зольности околорудных пород, метасоматитов и руд	Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2

Примечание. В табл. 25—29 применяются следующие сокращения названий геофизических методов: АМПП — аэроэлектроразведка методом магнитного индуктивного профилирования в импульсном переходном режиме; ВП — метод вызванной поляризации; ВЭЗ — вертикальное электрозондирование; ВЭЗ—ВП — электрозондирование в модификации ВП; ГК — гамма-каротаж; ГСЗ — глубинное сейсмическое зондирование; ДИП — аэроэлектроразведка методом магнитного индуктивного профилирования в гармоническом режиме; ДП — дипольное профилирование; ДЭЗ — дипольное электрозондирование; ДЭМП — дипольное электромагнитное профилирование; ДЭМПС — ДЭМП в скважинах; ЕП — метод естественного электрического поля; ЕЭМП — аэроэлектроразведка методом естественных электромагнитных полей; КМПВ — корреляционный метод преломленных волн; КС — каротаж скважин с измерением кажущегося сопротивления; КСПК — контактный способ поляризационных кривых (электрохимический метод скважинной геофизики); МЗТ — метод заряженного тела; МОВ — метод отраженных волн; МПП — метод переходных процессов; МРЗ — метод регионального заряда; МСК — каротаж скважин методом скользящих контактов; МЭК — метод электрической корреляции; МЭП — метод электронных потенциалов; ПС — каротаж скважин с измерением поляризации спонтанной; ПЭЕП — электропрофилирование повторной установкой; РВП — радиоволновое просвечивание; СГ — электропрофилирование методом срединных градиентов; СЭМ — сейсмоэлектрический метод; ЧЭЗ — частотное электромагнитное зондирование; ЭГК — электрогамма-каротаж

верхности эрозионного среза ореолы проявляются лишь в виде узких зон, приуроченных к различно ориентированным разрывам. Каркасные ореолы могут сопровождать различные преобразования месторождений.

Линейные ореолы имеют лентовидную и пластообразную форму, отражающую вторичную линейность рудных залежей, подвергнутых интенсивному динамометаморфизму. Линейные ореолы характерны для третьего типового случая преобразования месторождений. На поверхности эрозионного среза выходы таких ореолов, как правило, совпадают с горизонтальной проекцией рудных тел и имеют резко удлиненную форму. По вертикали над рудными телами они развиваются на значительные расстояния (до 1 км и более).

Ореолы месторождений различных субформаций Рудного Алтая характеризуются несколько различным набором типоморфных ассоциаций основных элементов-индикаторов.

1. Свинцово-медно-цинково-колчеданная субформация: Cu>**Zn**, Mo>**Pb**, Co>Bi;

2. Медно-свинцово-цинково-колчеданная субформация: **Zn**>>Cu>**Pb**>Mo>Bi>**Ag**>Co;

3. Свинцово-цинково-колчеданная субформация: **Pb**>Zn>Cu>>**Ag**>**Cd**>**As**; барит-свинцово-цинково-колчеданная фация той же субформации; Pb>**Ag**, **Au**>Zn, **Cd**>**Ba**>As

Элементы в рядах типоморфных ассоциаций ранжированы по убыванию величины нормированной условной продуктивности в соответствии с данными А. А. Головина [37], при этом доминирующие элементы фронтальных зон выделены.

Комплексирование работ при поисках

Последовательность прогноза и выявления полиметаллически-колчеданных месторождений рудноалтайского типа в пределах геосинклинальных (островодужных) металлогенических зон, наложенных на остаточные блоки срединных массивов, может быть представлена в виде ряда объектов поисков и их признаков: остаточные блоки срединного массива, преобразованные в вулканогенные остаточные геоантиклинальные поднятия→контрастная базальт-риолит-кремнисто-терригенная формация в краевых частях остаточных поднятий→относительно натровая, промежуточная или относительно калиевая субформации контрастной формации в вулканогенных прогибах со стратовулканами, экструзивными куполами и краевыми палеодепрессиями над расколами кристаллического основания→промежуточные и удаленные, нередко кремнистые фации в локальных вулканических впадинах на склонах стратовулканов, экструзивных куполов и в прибортовых частях краевых палеодепрессий в одном-двух стратиграфических интервалах разреза рудоносной субформации→околорудные гидротермально-осадочные породы и метасоматиты кварц-серицитовой формации, геохимические зональ-

ные ореолы меди, свинца, цинка; геофизические аномалии магнитного, гравитационного и электрического полей; проявления сульфидной минерализации → рудные подсечения → залежи медно-свинцово-цинково-колчеданных руд.

Последовательность выявления разномасштабных полиметаллически-колчеданных объектов, их предпосылок и признаков отражена в схеме комплексирования (табл. 25).

Колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенных толщах (филизчайского типа)

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Месторождения филизчайского типа локализуются в глубоководных окраинноконтинентальных прогибах (терригенных эвгеосинклиналях) с угнетенным базальтоидным вулканизмом. Продуктивные толщи принадлежат к терригенно-флишоидной, нередко углеродистой формации, содержащей базальты и риолиты. Рудные районы приурочены к палеодепрессиям, развитым в осевых зонах окраинноконтинентальных прогибов и выполненным рудоносными глинистыми фациями пород. В пределах палеодепрессий рудные поля тяготеют к локальным впадинам.

Месторождения нередко метаморфизованы в условиях от зеленосланцевой до высоких ступеней амфиболитовой фации и, как правило, интенсивно дислоцированы.

Рудоконтролирующими и рудовмещающими палеоструктурами, таким образом, являются разнопорядковые глубоководные депрессии с застойным режимом вод, причем месторождения тяготеют к бортовым частям локальных впадин. Они объединяют гидротермально-осадочные и комбинированные залежи преимущественно пластообразной и линзовидной формы; реже встречаются тела более сложной формы. Преобладающий минеральный состав руд галенит-сфалерит-пиритовый, галенит-сфалерит-пирротиновый, реже отмечаются халькопирит-пиритные руды. Характерное отношение Pb, Zn и Cu 1 : 3 : 0,5. Среди попутных компонентов практическое значение имеют серебро и кадмий.

Гидротермально-метасоматические изменения — окварцевание, хлоритизация и карбонатизация терригенных пород — проявлены слабо. Глубоководные депрессии с рудоносными терригенными отложениями находятся в пределах так называемых терригенных или сланцевых эвгеосинклиналей. Сиалический фундамент здесь глубоко погружен и в значительной степени редуцирован, а мощность существенно глинистых толщ, нередко смятых в альпинотипные складки, достигает 10 км.

Эвгеосинклинальные структурно-формационные зоны делятся на подзоны, которые, по данным Н. К. Курбанова и других исследователей, в современных структурах представляют собой про-

дольные тектонические ступени, разделенные разломами глубокого заложения. Последние фиксируются поясами субвулканических даек диабазов и риолитов. Продольные зоны и подзоны расчленены поперечными тектоническими структурами на ступенчато поднятые и опущенные блоки. В отложениях раннегеосинклинального яруса границы поперечных блоков выражены вертикальными флексурами, осложненными эшелонированными прерывистыми сбросо-сдвигами и гемисинклиналями. Границы блоков фундамента депрессий в поле силы тяжести отражаются в виде гравитационных ступеней. При этом поднятые блоки фиксируются магнитными и гравиметрическими максимумами, а опущенные — отчетливо выраженными минимумами [36].

Поперечные блоки были заложены еще в период интенсивного прогибания ложа геосинклинали и сохраняли мобильность в конседиментационный и последующие этапы развития зон. Рудовмещающие отложения в относительно поднятых в современной структуре поперечных блоках представлены глубоководными глинистыми фациями, чередующимися с маломощными пачками флишоидов. Наиболее крупные котловины примыкали к узким продольным трогам, осложненным глубинными магмоподводящими разломами. В пределах структурно-формационных подзон концентрация месторождений носит прерывисто-узловой характер. Максимальное количество колчеданно-полиметаллических руд сосредоточено в поперечных поднятых блоках, охватывающих инверсионные поднятия. Эти инверсионные поднятия, совпадающие с палеодепрессиями, представляют собой рудные районы, границы которых предопределяются поперечными конседиментационными элементами структур.

При поисках колчеданно-полиметаллических руд в условиях флишоидных толщ южного склона Большого Кавказа и других аналогичных провинций необходимо учитывать, что рудные залежи приурочены к основанию регрессивных ритмов и верхам трансгрессивных ритмов, а в их пределах — к глинистым фациям конседиментационных впадин. Рудовмещающие глинистые толщи регрессивных и трансгрессивных серий имеют региональное распространение. Рудоносные же горизонты обладают весьма ограниченным латеральным и вертикальным развитием. Они характеризуются присутствием сидерит-пиритовых и пиритовых конкреций, рассеянного фрамбоидального пирита, повышенным содержанием органического углерода, закисного железа и отсутствием донной фауны.

К прямым поисковым признакам, наряду с наличием руд, относятся зоны гидротермальных изменений; при этом в терригенных породах наблюдаются зоны хлоритизации и карбонатизации, а в магматических — окварцевания.

Над минерализованными зонами интенсивность лито- и гидрохимических аномалий, как правило, увеличивается в 2—3 раза, а иногда в 5—6 раз. Однако при анализе гидрохимических данных в условиях Большого Кавказа необходимо всегда учитывать альпийский рельеф, часто смещающий аномалии на значительные рас-

стояния. Следует принимать во внимание только те данные гидрогеохимии, которые были получены в период сухих сезонов.

В связи с большим содержанием пирротина в рудных залежах месторождений Большого Кавказа локальные аномалии ΔZ рассматриваются здесь как прямой признак наличия колчеданно-полиметаллического оруденения. Локальные аномалии ΔZ «рудного характера» отличаются повышенной интенсивностью — до 1100 мА/м. Осложняющим фактором использования аномалий ΔZ в поисковых целях является присутствие даек габбро-диоритов.

Локализация колчеданно-полиметаллического оруденения филизчайского типа в пределах докембрийских провинций также контролируется фациальными особенностями рудовмещающих толщ. Так, пластообразные рудные залежи Холоднинского месторождения (Северное Прибайкалье) сингенетичны рудовмещающей толще верхнего протерозоя, породы которой накапливались в бассейне лагунного типа, отвечающем локальной отрицательной структуре в краевой части Олокитского прогиба.

Богатые руды месторождения располагаются на границе нижней и средней пачек нижней подсвиты перевальской свиты; в этой части подсвиты происходит смена слабоизвестковистых псаммитовых осадков известковисто-глинистыми. Наиболее богатые руды залегают в центральной части месторождения, которая, судя по увеличенным мощностям рудовмещающей толщи, соответствует наиболее прогнутой части палеобассейна седиментации и рудоотложения. К флангам месторождения в рудовмещающей толще наблюдаются уменьшение мощностей и фациальные изменения: уменьшение коэффициента общей карбонатности на юго-западном фланге и резкое увеличение его (появление почти чистых графитсодержащих известняков) на северо-восточном. Такие изменения в условиях накопления рудовмещающих толщ, по-видимому, были менее благоприятными для процессов рудоотложения, поэтому к флангам месторождения сокращаются мощности рудных залежей и их продуктивность. Резко повышенные (до 6 %) содержания свободного углерода, установленные в прослоях черных сланцев внутри рудных залежей Холоднинского месторождения, так же как и на месторождениях Большого Кавказа, подчеркивают влияние углистого вещества на процессы рудогенеза.

Для докембрийских рудоносных прогибов также намечается парагенетическая связь колчеданно-полиметаллического оруденения с верхнепротерозойским вулканизмом. О наличии такой связи в пределах Енисейской провинции свидетельствуют, прежде всего, пространственная сближенность уровней вулканизма и оруденения, широкое развитие проявлений колчеданно-полиметаллического оруденения среди осадочно-вулканогенных формаций и их подчиненность стратиграфическому контролю.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Месторождения филизчайского типа, в первую очередь докембрийского возраста, нередко метаморфизованы в условиях от зеленосланцевой до высоких ступеней амфиболитовой фации и, как правило, интенсивно дислоцированы, т. е. отвечают второму, третьему и реже шестому типовым случаям преобразования первичных рудных залежей, которые охарактеризованы в разделе «Медно-колчеданные месторождения».

Специфика проведения поисковых работ в геосинклинальных прогибах позднего протерозоя, обусловленная широким распространением в их пределах продуктов метаморфизма, заставляет включать в группу минералого-геохимических критериев и признаков поискового прогнозирования собственно метаморфические критерии. Однако даже при интенсивном региональном метаморфизме (вплоть до амфиболитовой фации) дометаморфические сульфидные залежи сохраняют свое первоначальное строение, но сопровождаются зонами развития переотложенной прожилково-вкрапленной минерализации и таких специфических нерудных минералов, как цинксодержащая шпинель.

Определенный интерес представляют зоны локального гидротермального метаморфизма. Они имеют косвенное поисковое значение, так как непосредственно не связаны с рудным процессом. Зоны метасоматических порфиробластических и кварц-мусковитовых сланцев накладываются на пластовое оруденение и являются средой, в которой локализуется регенерированное прожилково-вкрапленное оруденение.

Метасоматиты в разной степени насыщены прожилками и вкрапленностью сфалерита, галенита, халькопирита, пирита и пирротина; наиболее интенсивная сульфидная минерализация отмечается в метасоматитах вблизи пластообразных рудных залежей.

На Холоднинском месторождении равномерное распределение пирротина свойственно только породам рудовмещающей черносланцевой формации, причем на участках ее фациального выклинивания вкрапленность пирротина сменяется вкрапленностью пирита. При приближении к пластообразным рудным залежам происходит постепенная смена вкрапленного гексагонального пирротина сначала пирротином смешанного состава (гексагональный+моноклинный), а затем моноклинным.

Важным поисковым признаком колчеданно-полиметаллического оруденения является также присутствие во вмещающих породах цинковой шпинели. Она в ряде случаев ассоциирует с метаморфизованными стратиформными рудами. Так, слепые рудные тела месторождения Брокен-Хилл (Австралия) трассируются на поверхности зонами метаморфических сланцев, насыщенных цинковой шпинелью [36]. Этот минерал весьма устойчив при выветривании и может накапливаться в донных отложениях речной сети.

Поэтому при шлиховом опробовании надо обращать особое внимание на возможные находки шпинели.

Методика разбраковки геохимических и гидрогеохимических ореолов в условиях докембрийских колчеданно-полиметаллических провинций разработана недостаточно, и это ограничивает применение данных методов при поисках.

Требования к результатам работ по стадиям геологоразведочного процесса

Общие поиски. Работы этой стадии ставятся на площадях с признаками промышленной продуктивности, глубинное строение которых изучено слабо, и на площадях с невыясненной продуктивностью, на которых установлены рудоносные формации (аспидная, терригенно-флишоидная, недифференцированная базальтовая, непрерывно дифференцированная базальт-андезит-риолит-дацитовая, слабо дифференцированная габбро-диоритовая); мощность рудоперекрывающих толщ не должна превышать 500 м.

В процессе работ рассматриваемой стадии должны быть выделены в полосе развития рудовмещающих отложений перспективные площади (крупные поперечные инверсионные поднятия), охватывающие стратиграфические уровни рудоносных толщ и отвечающие рудным полям, установлено наличие потенциальных рудных полей и произведена оценка их прогнозных ресурсов по категории P_2.

В предпроектных прогнозных исследованиях на основании известных данных о степени изученности вопросов стратиграфии, тектоники, магматизма, оруденения определяются формационный тип оруденения, магматические и осадочные формации, проводится предварительная разбраковка площадей и выделяются площади первой очереди для постановки общих специализированных поисков.

Поисковые работы. Работы этой стадии решают задачу выделения в пределах локальных инверсионных поднятий конседиментационных палеовпадин, а в их пределах — рудоносных горизонтов, обогащенных $C_{орг}$, сульфидно-карбонатными и сульфидными скоплениями. Должно быть установлено наличие рудоносных горизонтов, перспективных на обнаружение рудных залежей, определены их прогнозные ресурсы категории P_2 и в некоторых случаях P_1.

В предпроектных прогнозных исследованиях необходимо оценить перспективы выявленных поперечных структур и известных рудных объектов, разделить их по составу и формационной принадлежности. Необходимо определить долгоживущие структуры конседиментационного возраста заложения, площади распределения, мощности, насыщенность $C_{орг}$ и степень дислоцированности рудовмещающих глинистых толщ, трансгрессивный или регрессивный тип разреза, наличие резко выраженных гравитационных максимумов, контрастных аномалий магнитного и естественного

электрического полей, интенсивных литогеохимических и гидрохимических аномалий, что позволит выделить потенциально рудоносные инверсионные поднятия для постановки поисковых работ первой очереди.

Колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенно-карбонатных и карбонатно-кремнисто-терригенных толщах (атасуйского типа)

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Рудоносные структурно-формационные зоны атасуйского типа, подобно рудноалтайским и филизчайским, также являются колчеданоносными, но своим возникновением обязаны не раннегеосинклинальным процессам, а явлениям активизации геосинклинальных рам. Они содержат колчеданно-полиметаллические месторождения атасуйского типа и локализуются в краевых частях массивов ранней консолидации в пределах относительно мелководных субплатформенных впадин, иногда рифтогенной природы, выполненных отложениями трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной формации. Впадины наложены не на образования геосинклинального цоколя, а на орогенные андезит-базальтовый, риолитовый и базальт-трахиандезитовый комплексы краевых поясов.

Чехол массивов в пределах поясов сложен орогенными, а иногда также и субплатформенными формациями натрий-калиевой серии, синхронными с геосинклинальными калий-натриевыми формациями. Синорогенные ярусы чехла представлены риолит-дацит-терригенными, андезит-базальт-терригенными и базальт-андезит-риолит-терригенными формациями, причем вулканические породы обладают довольно высоким содержанием K_2O; в кремнекислых разностях до 6 %. Субплатформенные образования чехла, иногда выполняющие наложенные впадины, более амагматичны. Они обычно представлены трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной формацией с еще большим содержанием K_2O и характерным отношением K_2O к Na_2O в щелочных породах — от 2,6 до 3,8 (выше, чем в вулканитах срединных массивов и их реликтов).

Железо-марганцево-свинцово-цинково-колчеданные зоны располагаются над внутренними участками краевых вулкано-плутонических поясов вблизи геосинклинальных складчатых систем нового цикла. Рудные районы и поля здесь контролируются конседиментационными карбонатно-терригенно-вулканогенными впадинами, иногда окаймленными более поздними гранитоидами. Месторождения, как и в зонах предыдущих типов, являются типичными стратиформными образованиями. Однако от колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского и филизчайского типов они отличаются не спорадическим, а повсеместным совмещением в контурах одного месторождения марганцево-железных и свинцово-цинковых руд, постоянным повышенным содер-

жанием бария в рудах и отсутствием заметных концентраций меди.

Эталонная Атасуйская зона находится в пределах краевого вулкано-плутонического (или вулканического, по А. А. Богданову) пояса Центрального Казахстана. Пояс возник на краю Казахстанско-Северо-Тянь-Шаньского эпикаледонского массива ранней консолидации в результате девонской тектоно-магматической активизации каледонского фундамента массива в связи с развитием Джунгаро-Балхашской герцинской геосинклинали. Он сложен мощным (до 5 км) комплексом осадочно-вулканогенных пород девона и комагматичными вулканитам гранитоидами. Вулканиты представлены преимущественно андезитобазальтами и риолитами.

Во внутренней зоне пояса и в пределах массива в узлах пересечений разломов фундамента развиты наложенные конседиментационные мульды, выполненные фамен-турнейскими отложениями трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной формации. Они и контролируют размещение рудных районов. В мульдах наибольшее число месторождений приурочено к участкам, где отмечается увеличение мощности базальтового слоя на 5—10 км при приближении его поверхности на расстояние 15—20 км. Месторождения расположены вдоль фиксирующих глубинные разломы зон резких изменений глубины поверхности Мохоровичича. К наиболее известным рудным объектам Атасуйской зоны относятся Жайремское рудное поле и одноименное месторождение, локализующееся в краевой части Жаильминской мульды в туфогенно-карбонатно-кремнистой толще верхнего фамена. Последняя характеризуется флишоидной ритмичностью. Нижние элементы ритмов представлены известковыми песчаниками (мощность 10—70 см), средние — известковыми алевропелитами и псаммоалевропелитами (5—60 см; иногда 1,6—2,0 м), а верхние — углистыми карбонатно-глинисто-кремнистыми пелитами. Наличие во флишоидной толще прослоев туфов рассматривается как свидетельство синхронных проявлений вулканизма, с которым связаны процессы рудообразования.

Надрудные толщи в пределах разреза рудоносной формации представлены известково-глинистыми флишевыми, кремнистыми и известковистыми породами с пластами и прослоями железистых и марганцевых руд.

Рудовмещающие толщи образованы глинисто-кремнисто-карбонатными, известково-глинистыми отложениями с углистыми и туфовыми прослоями. Подрудные толщи сформированы нередко карбонатно-терригенными отложениями с углистым веществом и прослоями туффитов, туфов и лав базальтов, риолитов и трахитов. В подрудной части разреза Жайремского рудного поля снизу вверх зафиксированы франские красноцветные вулканогенно-терригенные отложения орогенного фундамента рудоносной Жаильминской мульды, а также мергели, алевролиты и известняки с лавами и туфами субщелочных базальтов, изредка с маломощными

прослоями магнетитовых и сидеритовых руд нижней пачки фамена, относящегося уже к продуктивной формации.

Выше залегают вулканогенно-кремнисто-карбонатные отложения последующих четырех пачек фамена (снизу вверх по разрезу): первой ритмичнослоистой с пиритовыми и пирит-сфалеритовыми ритмитами и характерными туфогенными серицитолитами, с гематит-магнетитовыми и сидеритовыми рудами в нижней части и свинцово-цинковыми — в средней и верхней; второй флишоидной с пиритовыми, сфалеритовыми и галенит-сфалерит-пиритовыми ритмитами, промышленными свинцово-цинковыми рудами в нижней и средней частях пачки и гематит-магнетитовыми — в верхней; третьей сероцветной с пиритовыми и сфалеритовыми ритмитами, с чередованием флишевых горизонтов, содержащих магнетит-гематитовые, сфалерит-пиритовые и спорадически — сфалерит-галенитовые руды; четвертой красноцветной со своеобразными узловатыми известняками, прослоями железных руд и яшм. Палеозойский разрез венчается надрудными известняками и карбонатно-глинистыми породами с прослоями тефроидов, пепловых туфов и туффитов турнейского яруса.

По данным Ф. Ф. Таранушича и других геологов, различают следующие типы литогенеза фаменско-турнейских отложений: 1) вулканогенно-осадочный; 2) нормально-осадочный морской мелководный; 3) нормально-осадочный морской глубоководный; 4) гидротермально-осадочный. Первый тип в небольшом объеме (5—10 %) встречается в пределах всего фаменско-турнейского разреза, представлен подводной лавовой, пирокластической и осадочно-пирокластической фациями. Второй тип с фациями прибрежного мелководья и открытого моря характерен для нижней невыдержаннослоистой пачки фамена и для верхнего турне. Третий тип с фациями мутьевых потоков и иловых впадин занимает около 50 % объема пород четырех верхних пачек фамена и нижнего турне. Четвертый тип с фациями оксидных, оксидно-силикатно-карбонатных железных руд, узловатых известняков и сульфидных руд охватывает 20 % объема тех же пачек.

Сульфидные руды, пространственно разобщенные с магнетит-гематитовыми слоями, образованы пиритовыми, сфалеритовыми и галенит-сфалерит-пиритовыми ритмитами, приуроченными к верхней части флишевых горизонтов в наиболее прогнутых участках. На всех месторождениях рудного поля рудовмещающей является флишоидная пачка фамена, обладающая ритмичностью; ритмы имеют трехчленное строение: в их основании залегают градационно отсортированные турбидиты — органогенный детрит, обломки кислых эффузивов, глинисто-кремнисто-карбонатных пород, пиритовых ритмитов (мощность 1—70 см); среднюю часть ритмов составляют известковистые алевролиты с кальцитовыми конкрециями, пиритовыми и пирит-сфалеритовыми ритмитами в верхней ее половине (5—150 см); завершают ритм углистые карбонатно-глинисто-кремнистые породы с теми же ритмитами в верхней части ритма (1—30 см).

Оруденение представлено: 1) чередованием слойков тонкодисперсного фрамбоидального пирита и кварц-кальцитовых слойков со сфалеритом (пиритовые ритмиты); 2) чередованием слойков тонкодисперсного сфалерита и кварц-кальцитовых слойков (сфалеритовые ритмиты); 3) чередованием послойных баритовых тел, прослойков красных яшм, чистых и гематитизированных кремнистых известняков; 4) послойными кварц-кальцит-баритовыми жилами со сфалеритом и галенитом; 5) секущими жилами того же состава; 6) линзами, в которых исходные породы замещены тонкозернистым баритом с вкрапленностью сфалерита, галенита и халькопирита.

Первые три формы относятся к седиментным рудам I этапа, образовавшимся в результате просачивания гидротерм в морскую воду и последующего диагенеза осадков; остальные являются метасоматическими рудами II этапа, формирование которых оторвано во времени от накопления гидротермально-осадочных руд. Не исключено также, что руды обоих этапов имеют гидротермально-осадочное происхождение. Об этом свидетельствуют концентрическая зональность руд в плоскости напластования, выражающаяся в смене от внутренних частей к внешним баритовых руд вначале барит-сфалеритовыми, затем сфалеритовыми и пиритовыми, и микроструктуры руд, подтверждающие их моноасцендентную кристаллизацию из гомогенизированных рудных илов. Черты эпигенетичности части руд могут быть объяснены регенерацией рудного вещества, сопровождающей внедрение субвулканических калишпатовых порфиров.

Разномасштабным рудным объектам в зонах атасуйского типа соответствуют следующие геологические структуры: рудным районам — отдельные субплатформенные впадины, выполненные отложениями трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной формации; рудным полям — участки пересечения разнонаправленных складчатых и разрывных дислокаций в субплатформенных впадинах, отражающие погребенные разломы их орогенного основания; месторождениям — локальные конседиментационные впадины и поднятия в пределах участков развития иловых фаций, сопряженных с пляжевыми и рифовыми фациями мелководья. Месторождения, как и в зонах предыдущих типов, являются типичными стратиформными образованиями. Гидротермально-метасоматические изменения, как и на месторождениях филизчайского типа, развиты слабо и представлены гематитизацией, баритизацией, окварцеванием, серицитизацией, иногда альбитизацией и калишпатизацией рудовмещающих пород.

Таким образом, размещение колчеданно-полиметаллических месторождений Атасуйского и других аналогичных районов подчиняется формационному, стратиграфическому, литолого-фациальному и структурному контролю и фиксируется геохимическими и геофизическими аномалиями.

Формационный контроль заключается в генетической связи железо-марганцевых и барит-свинцово-цинково-колчеданных руд

со субщелочной трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной формацией, слагающей посторогенный этаж чехла массивов ранней консолидации и унаследовавшей ряд черт от орогенного фундамента (краевого вулканического пояса). Эта связь выражается прежде всего в том, что руды, как железо-марганцевые, так и барит-свинцово-цинково-колчеданные, нередко являются элементами ритмов в разрезе флишоидных толщ формаций.

Стратиграфический контроль обусловлен локализацией руд исключительно в отложениях фаменского яруса, причем главная масса барит-свинцово-цинково-колчеданных руд сосредоточена в третьей флишоидной пачке. Менее значительные залежи, а чаще отдельные сульфидные ритмиты известны в ритмичнослоистой, сероцветной и красноцветной пачках.

Литолого-фациальный контроль состоит в принадлежности большинства железо-марганцевых и барит-свинцово-цинково-колчеданных руд к гидротермально-осадочному типу литогенеза и в ассоциации железо-марганцевых руд с фациями отложений открытого моря, где преобладали окислительные условия, а барит-свинцово-цинково-колчеданных руд — с фациями иловых впадин, где господствовали застойные восстановительные условия, благоприятные для образования сульфидов, и с фациями зон сопряжений впадин и мелководья, в пределах которого развиты пляжевые и рифовые фации.

Структурный контроль выражается в приуроченности рудных полей и месторождений к участкам пересечения разнонаправленных складчатых и разрывных дислокаций, отражающих погребенные разломы фундамента.

Рудные залежи и расположенные над ними древние коры выветривания фиксируются первичными и вторичными геохимическими ореолами, а также приповерхностными наложенными сорбционно-солевыми ореолами рассеяния свинца, цинка, меди, бария, марганца, серебра и других элементов.

Из геофизических аномалий, по данным Л. Ф. Думлера и др. [35], поисковый интерес представляют магнитные аномалии интенсивностью 400 мА/м и более, возбуждаемые железными рудами и реже разломами фундамента, залеченными магматическими породами основного состава, а также аномалии поля силы тяжести (в виде линейно вытянутых градиентов поля) и сейсморазведочные аномалии, выявляемые методами МПП и ВП.

Обстановка нахождения месторождений и условия ведения поисков

Первичные обстановки рудонакопления на месторождениях атасуйского типа осложнены второй, третьей и четвертой типовыми обстановками преобразования рудных объектов, охарактеризованными в разделе «Медноколчеданные месторождения». Стратиформные месторождения данного типа под воздействием регионального термодинамического и контактового метаморфизма,

тепловых и гидротермальных потоков, проникающих из глубин земной коры по проницаемым тектоническим зонам, в ряде провинций страны претерпели вместе с вмещающими породами различные метаморфические преобразования. Наиболее интенсивно метаморфизованы докембрийские месторождения, а также более молодые месторождения в региональных зонах смятия.

Метаморфические преобразования обусловливают изменения минерального состава руд и их текстурно-структурных особенностей, но наиболее значительно они отражаются на морфологии рудных тел: происходит частичное уплощение последних, нагнетание рудного вещества в ядерные части складок, наращивание рудных тел на флангах и вдоль секущих разрывных нарушений переотложенным и регенерированным минеральным веществом, будинаж рудных залежей.

Месторождения в зонах экзоконтактов гранитных массивов нередко скарнируются и регенерируются, иногда полностью утрачивают особенности их дометаморфического строения.

Таким образом, модели объектов поисков стратиформных месторождений атасуйского типа выделяются по сочетаниям одной обстановки возникновения и четырех обстановок преобразования.

По морфологии и составу первичные и переотложенные ореолы на месторождениях атасуйского типа довольно близки ореолам рудноалтайских месторождений. Особенности геохимических ореолов на атасуйских месторождениях были изложены ранее. Здесь отметим только, что барий, марганец и германий являются типоморфными элементами ореолов месторождений атасуйского типа.

Комплексирование работ при поисках

Последовательность прогноза и выявления колчеданно-полиметаллических месторождений атасуйского типа в пределах субплатформенных (шельфовых) металлогенических зон чехла массивов ранней консолидации может быть представлена в виде следующего ряда объектов поисков и их признаков: массив ранней консолидации → андезит-базальтовый, риолитовый и базальт-трахиандезитовый вулканогенные комплексы краевого вулканического пояса, слагающие орогенный этаж чехла массива в его краевой части, → трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатная формация субплатформенных впадин, наложенных не на геосинклинальный фундамент, а на орогенный этаж чехла массива в узлах пересечений разломов фундамента и слагающих субплатформенный этаж чехла, → участки пересечений разнонаправленных складчатых и разрывных дислокаций в субплатформенном этаже чехла, отражающие погребенные разломы орогенного основания впадин, → фации иловых впадин и их сопряжения с пляжевыми и рифовыми фациями мелководья → околорудные гидротермально-осадочные породы, первичные, вторичные и приповерхностные наложенные сорбционно-солевые ореолы рассеяния свинца, цинка, меди, бария,

Таблица 26

Схема рационального комплексирования работ по прогнозу и поискам месторождений атасуйского типа

Стадия, подстадия	Задачи	Методы	Конечные результаты
Региональные геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000)	1. Реставрация массива ранней консолидации и его краевой части 2. Оконтуривание субплатформенных впадин в узлах пересечений разломов фундамента, ореолов развития рудоносной трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной формации над вулканогенными комплексами краевого вулканического пояса 3. Определение формационной принадлежности известных месторождений, рудопроявлений, метасоматитов 4. Составление схем структурно-формационного и металлогенического районирования	1. Гравиметрическая (наземная) и аэромагнитная * съемки, электроразведка (ВЭЗ *, ДЭЗ, ЧЭЗ), сейсморазведка (МОВ, КМПВ *, ГСЗ *) 2. Геологическая съемка групповая * 3. Обобщение данных о глубинном строении территории 4. Палеотектонический и формационно-металлогенический анализ	Обоснование геологических границ металлогенической зоны, оконтуривание потенциальных рудных районов, оценка прогнозных ресурсов категории P_3
Геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками	1. Оконтуривание в субплатформенных впадинах участков пересечений разнонаправленных складчатых и разрывных дислокаций, фаций иловых впадин, пляжевых, рифовых 2. Оконтуривание геофизических аномалий и геохимических ореолов 3. Уточнение границ участков пересечений разнонаправленных складчатых и разрывных дислокаций в субплатформенных впадинах над погребенными разломами их основания 4. Уточнение границ развития фаций иловых впадин, пляжевых, рифовых 5. Анализ геофизических, геохимических	1. Аэромагнитная и гравиметрическая съемки, сейсморазведка (МОВ), электропрофилирование 2. Геологическая съемка 3. Обобщение данных о глубинном строении площади 4. Литогеохимическая съемка по коренным и рыхлым отложениям, геохимическое опробование керна скважин 5. Формационно-фациальный и палеоструктурный анализ 6. Аэромагнитные поиски с применением квантовых магнитометров, аэрогамма-спектрометрическая съемка, аэроэлектроразведка (АМПП), электро-	Оконтуривание потенциальных рудных полей, предварительная оценка прогнозных ресурсов категории P_2

	полей и их соотношений со структурными и фациальными границами	разведка (ВП, ВЭЗ-ВП), скважинная геофизика (ВП) 7. Бурение структурно-поисковых скважин 8. Геохимическое опробование керна скважин 9. Фациальный и палеоструктурный анализ	
Поисковые работы	1. Оконтуривание и выявление рудоносности локальных конседиментационных впадин и поднятий, сложенных фациями иловых впадин, пляжевыми и рифовыми, на участках пересечений разнонаправленных складчатых и разрывных дислокаций в субплатформенных впадинах 2. Выявление и оконтуривание околорудных пород, вторичных и приповерхностных наложенных сорбционно-солевых ореолов, геофизических аномалий, проявлений сульфидной и оксидной минерализации	1. Геолого-структурная съемка 2. Магнито- и гравиметрическая съемки, сейсморазведка (МОВ), электроразведка (МПП), скважинная геофизика (ВП), каротаж (ЭГК) 3. Литогеохимическая съемка по коренным и рыхлым отложениям, геохимическое опробование керна скважин 4. Бурение поисковых скважин 5. Фациальный и палеоструктурный анализ	Получение рудных подсечений, оценка прогнозных ресурсов категории P_2 и частично P_1
Поисково-оценочные работы	1. Разбраковка рудных подсечений — рудопроявлений, выбор потенциально промышленных месторождений, обоснование их геологических границ 2. Ориентировочная геометризация контуров рудных тел 3. Оценка возможного промышленного значения выявленного месторождения с составлением технико-экономических соображений о целесообразности проведения предварительной разведки	1. Геолого-структурная съемка 2. Бурение поисково-оценочных скважин 3. Скважинная геофизика (ВП, ЕП, МПП), каротаж (КС, ПС, ЭГК) 4. Геохимическое опробование керна скважин 5. Опробование рудных подсечений 6. Изучение фациальных особенностей и зональности околорудных пород и руд	Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2

* Методы, применяющиеся при исследовании новых районов.

Примечание. Расшифровку аббревиатур см. в табл. 25.

марганца, серебра, геофизические аномалии магнитного, гравитационного и электрического полей, проявления сульфидной и оксидной минерализации → рудные подсечения → залежи свинцово-цинково-колчеданных руд.

Этот ряд конкретизирован в виде прогнозно-поискового комплекса (табл. 26).

Колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенно-карбонатных толщах (горевского подтипа)

Месторождения горевского подтипа изучены пока недостаточно детально. Возможно, они являются докембрийскими аналогами фанерозойских объектов уже охарактеризованного атасуйского типа или рудных объектов миргалимсайского типа, рассматриваемых далее.

Рудные районы с месторождениями горевского подтипа приурочены к рифейским прогибам, выполненным терригенно-карбонатными отложениями. Последние содержат отдельные горизонты туфов и лав преимущественно основного, реже кислого состава, занимающих не более 5 % объема разреза. Рудные поля и месторождения тяготеют к отдельным впадинам, выполненным в значительной степени известняками хемогенного происхождения. В известняках отмечается примесь кластического материала.

Рудные тела и вмещающие породы месторождений нередко дислоцированы и метаморфизованы. В результате метаморфизма в известняках развиваются гранатовые скарноиды, а в рудах — пирротиновые ассоциации, замещающие скопления пирита.

Свинцово-цинковые стратиформные месторождения в карбонатных комплексах (миргалимсайского типа)

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Месторождения миргалимсайского типа локализуются в активизированных чехлах древних платформ и массивов ранней платформенной консолидации, сложенных в значительной мере почти амагматичными известково-доломитовыми толщами. Предполагается полигенное и полихронное происхождение месторождений: первичное накопление рудного вещества осадочным путем, его обособление в процессе диагенеза и катагенеза осадка и породы, вторичные переотложение и концентрация сульфидов вдоль разломов под воздействием термальных вод в процессе тектоно-магматической активизации древней или молодой платформ. Считается, что вследствие воздействия указанных процессов формируются два морфологических типа рудных тел — пластообразные залежи и секущие жилообразные тела. Первые тяготеют к пластам доломитов, известковистых доломитов и доломитовых известняков лагунно-морской фации. Сульфиды в них нередко образуют обога-

щенные полосы в прослоях, содержащих углистое и кремнистое вещество, что создает полосчатый облик руд. Жилообразные тела размещаются в участках развития островной и лагунно-морской доломит-известняковой фации. Они сопровождаются эпигенетической доломитизацией, баритизацией и окварцеванием вмещающих пород.

Минеральный состав руд относительно прост. Главные рудные минералы — галенит и сфалерит, второстепенные — пирит и марказит, нерудные — доломит, кальцит, барит и кварц. Преобладающими минеральными типами руд, нередко обособляющимися в самостоятельных месторождениях, являются существенно галенитовый с Pb : Zn от 3 : 1 до 4 : 1 и существенно сфалеритовый с Pb : Zn от 1 : 4 до 1 : 15. Для первого типа обычны прожилково-вкрапленные руды, а для второго — сплошные руды с колломорфными текстурами. Барит особенно характерен для существенно галенитовых месторождений, где его содержание в рудах составляет около 10 %. Из элементов-примесей наиболее типичны серебро, германий и таллий.

Продуктивные карбонатные толщи принадлежат к углисто-кремнисто-карбонатной формации.

Различают следующие типовые обстановки нахождения разномасштабных объектов прогноза миргалимсайского типа: 1) металлогенические зоны — склоны конседиментационных поднятий в чехле древних платформ, отражающих выступы кристаллического фундамента, и цепочки субплатформенных впадин в краевых частях массивов ранней консолидации, сложенных породами углисто-кремнисто-карбонатной формации; 2) рудные районы — отдельные внутри- и субплатформенные впадины, выполненные отложениями углисто-кремнисто-карбонатной формации; 3) рудные поля — конседиментационные прогибы с широким развитием пород лагунно-морской и островной фаций в прибортовых частях внутри- и субплатформенных впадин; 4) месторождения — брахиантиклинали и поперечные поднятия в конседиментационных прогибах над погребенными разломами фундамента, сложенные породами лагунно-морской и островной фаций.

Поисковые критерии и признаки месторождений миргалимсайского типа могут быть конкретизированы на примере Каратаусской металлогенической зоны. Данная зона, как и Атасуйская, находится в пределах Казахстанско-Северо-Тянь-Шаньского эпикаледонского массива ранней консолидации; она расположена на окраине массива, уже на значительном удалении от девонского краевого вулканического пояса. Фундамент массива здесь сложен карбонатно-терригенными и в меньшей степени вулканогенными толщами докембрия, кембрия и ордовика, а также прорывающими их каледонскими гранитоидами. Чехол образован терригенно-карбонатными отложениями, причем, в отличие от Атасуйской зоны, орогенный силур-среднедевонско-франский этаж чехла здесь представлен лишь франскими красноцветными континентальными

молассоидами и в разрезе чехла развит в основном субплатформенный позднедевонско-раннекаменноугольный этаж.

Стратиформные свинцово-цинковые месторождения миргалимсайского типа, так же как и железо-марганцево-свинцово-цинково-колчеданные месторождения Атасуйской зоны, размещаются в соответствии с формационными, стратиграфическими, литолого-фациальными и структурными факторами контроля оруденения.

Пластовые залежи барит-свинцово-цинковых руд миргалимсайского типа в Каратауской зоне практически являются частью углисто-кремнисто-карбонатной формации, участвуя в построении ее разреза: они располагаются в определенном стратиграфическом интервале — в средней части разреза фаменского яруса.

Мощность рудных горизонтов в пределах строго фиксированного среднефаменского продуктивного стратиграфического уровня не превышает десятков метров. Венчающие разрез среднепалеозойского субплатформенного чехла массива верхнетурнейские, визейские и намюрские отложения практически безрудны. В продуктивном стратиграфическом интервале руды ассоциируют с определенными фациями карбонатных отложений. В среднефаменском интервале продуктивна лагунно-морская доломит-известняковая литофация, находящаяся в областях быстрого перехода морских известняково-мергельной и алевропит-мергельно-известняковой литофаций в лагунную существенно доломитовую и лагунно-морскую известняково-доломитовую литофации [37].

Структурный контроль оруденения состоит в локализации рудных полей и месторождений в прибортовых частях конседиментационных среднепалеозойских синклинальных прогибов, осложненных брахиантиклиналями и поперечными поднятиями, устанавливаемыми по воздыманию шарниров синклиналей, а также крутопадающими разрывами. Указанные осложнения, очевидно, отражают погребенные разломы раннепалеозойского фундамента.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Первичные обстановки рудонакопления месторождений миргалимсайского типа, как и на месторождениях атасуйского типа, осложнены второй, третьей и особенно четвертой типовыми обстановками преобразования рудных объектов, охарактеризованными в разделе «Медноколчеданные месторождения». Если месторождения попадают в шестую обстановку преобразований, когда происходит переотложение и регенерирование руд под воздействием регионального и контактового метаморфизма с их локализацией в новообразованных структурах, то бывшие рудные объекты миргалимсайского, а также атасуйского типов могут трансформироваться в месторождения следующего геолого-промышленного типа — «скарнового» — регенерированного приаргунского.

Комплексирование работ при поисках

Последовательность прогноза и выявления свинцово-цинковых месторождений миргалимсайского типа в пределах субплатформенных (лагунных) металлогенических зон чехла массивов ранней консолидации может быть представлена в виде следующего ряда объектов поисков и их признаков: массив ранней консолидации → углисто-кремнисто-карбонатная формация субплатформенных впадин, наложенных на геосинклинальный фундамент массива в его краевой части, → конседиментационные прогибы в прибортовых частях субплатформенных впадин, осложненные брахиантиклиналями и поперечными поднятиями над погребенными разломами геосинклинального фундамента, → лагунно-морская и островная фации в одном-двух стратиграфических интервалах разреза углисто-кремнисто-карбонатной формации → ореолы доломитизации, аргиллизации, карбонатизации и окварцевания, поперечнозональные ореолы свинца, цинка, бария, геофизические аномалии электрического поля, проявления сульфидной и сульфатной минерализации → рудные подсечения → залежи свинцово-цинковых руд.

Этот ряд конкретизирован в виде прогнозно-поискового комплекса (табл. 27).

Свинцово-цинковые «скарновые» месторождения в карбонатных комплексах (приаргунского типа)

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Месторождения данного типа локализуются в орогенных вулкано-плутонических поясах массивов ранней консолидации и размещаются преимущественно в фундаменте, образованном в значительной мере породами углисто-кремнисто-карбонатной формации, реже — в терригенно-вулканогенном чехле массивов.

В пределах фундамента и чехла происходит фациальная дифференциация пород орогенной трахириолит-трахиандезитовой формации, слагающей вулкано-плутонические пояса. В фундаменте данная формация представлена гипо-, субвулканическими фациями лампрофиров, диоритов, сиенито-диоритов и щелочных гранитов, а в чехле — покровными фациями трахириолитов и трахиандезитов.

В пределах фундамента месторождения тяготеют к приподнятым гранитизированным углисто-кремнисто-карбонатным блокам, насыщенным гипо-, субвулканическими фациями пород трахириолит-трахиандезитовой формации, нередко являющимися отщеплениями, провесами и ксенолитами кровли древних гранитоидов, а также к тектоническим границам горстов фундамента и терригенным грабенам чехла.

Характерная особенность этих месторождений — нередкая пространственная связь полиметаллического оруденения со скарнами,

Таблица 27

Схема рационального комплексирования работ по прогнозу и поискам свинцово-цинковых месторождений миргалимсайского типа

Стадия, подстадия	Задачи	Методы	Конечные результаты
Региональные геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000)	1. Реставрация массива ранней консолидации и его краевой части 2. Оконтуривание субплатформенных впадин в краевых частях массива ранней консолидации, ореолов развития продуктивной формации над геосинклинальным фундаментом массива 3. Определение формационной принадлежности известных месторождений, рудопроявлений, метасоматитов 4. Составление схем структурно-формационного и металлогенического районирования	1. Гравиметрическая (наземная) и аэромагнитная (квантовым магнитометром) съемки *, электроразведка (ВЭЗ, ДЭЗ, ЧЭЗ), сейсморазведка (МОВ*, ГСЗ*) 2. Геологическая съемка групповая* 3. Обобщение данных о глубинном строении территории 4. Палеотектонический и формационно-металлогенический анализ	Обоснование геологических границ металлогенической зоны, оконтуривание потенциальных рудных районов, оценка прогнозных ресурсов категории P_3
Геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками	1. Оконтуривание в прибортовых частях субплатформенных впадин конседиментационных прогибов, лагунно-морских и островных фаций 2. Оконтуривание геофизических аномалий и геохимических ореолов 3. Уточнение границ конседиментационных прогибов в прибортовых частях субплатформенных впадин 4. Уточнение границ развития лагунно-морских и островных фаций 5. Анализ геофизических, геохимических полей и их соотношений со структурными и фациальными границами	1. Гравиметрическая съемка, сейсморазведка (МОВ), электроразведка (ВЭЗ, ДЭЗ, ДП, ПЭЕП), каротаж скважин (КС, ПС, ГК) 2. Геологическая съемка 3. Обобщение данных о глубинном строении площади 4. Геохимическое опробование керна скважин 5. Формационно-фациальный и палеоструктурный анализ 6. Аэроэлектроразведка (АМПП), электроразведка (ВП, ВЭЗ-ВП), скважинная геофизика (ВП) 7. Бурение структурно-поисковых скважин 8. Геохимическое опробование керна скважин	Оконтуривание потенциальных рудных полей, предварительная оценка прогнозных ресурсов категории P_2

Поисковые работы	1. Оконтуривание и выявление рудоносности брахиантиклиналей и поперечных поднятий, сложенных лагунно-морскими и островными фациями в конседиментационных прогибах прибортовых частей субплатформенных впадин 2. Выявление и оконтуривание ореолов доломитизации, аргиллизации, окварцевания, поперечнозональных геохимических ореолов, геофизических аномалий, проявлений сульфидной и сульфатной минерализации	9. Фациальный и палеоструктурный анализ 1. Геолого-структурная съемка 2. Гравиметрическая съемка, сейсморазведка (МОВ), скважинная геофизика (ВП), каротаж (ЭГК) 3. Геохимическое опробование керна скважин 4. Бурение поисковых скважин 5. Фациальный и палеоструктурный анализ	Получение рудных подсечений, оценка прогнозных ресурсов категории P_2 и частично P_1
Поисково-оценочные работы	1. Разбраковка рудных подсечений — рудопроявлений, выбор потенциально промышленных месторождений, обоснование их геологических границ 2. Ориентировочная геометризация контуров рудных тел 3. Оценка возможного промышленного значения выявленного месторождения с составлением технико-экономических соображений о целесообразности проведения предварительной разведки	1. Геолого-структурная съемка 2. Бурение поисково-оценочных скважин 3. Скважинная геофизика (ВП), каротаж (ЭГК) 4. Геохимическое опробование керна скважин 5. Опробование рудных подсечений 6. Изучение фациальных особенностей и зональности околорудных пород и руд	Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2

* Методы, применяющиеся при исследовании новых районов.
Примечание. Расшифровку аббревиатур см. в табл. 25.

возникшими при воздействии на карбонатные породы высокотемпературных расплавов или растворов в условиях средних или малых глубин. Несмотря на длительное изучение геологического строения и вещественного состава руд, вопрос о времени проявления скарнообразующих процессов по отношению к полиметаллическому оруденению остается для ряда месторождений дискуссионным.

В некоторых рудных районах кроме «скарновых» полиметаллических присутствуют месторождения других типов, в первую очередь железо-марганцево-свинцово-цинково-колчеданные и свинцово-цинковые стратиформные, но «скарновые» месторождения, в отличие от прочих, локализуются в зонах экзоконтактов крупных гранитоидных массивов (Карагайлы и Акжал в Центральном Казахстане, Темуртейин-Овоо в МНР, месторождения Граммативковского рудного поля в БНР). Совокупность геологических фактов позволила сделать выводы о том, что эти месторождения сформировались в результате контактовых преобразований ранее существовавших месторождений. Такой генезис свойствен некоторым месторождениям Центрального Казахстана, метаморфизованным месторождениям атасуйского типа МНР и НРБ.

Вместе с тем в целом ряде рудных районов имеются месторождения собственно скарнового типа, т. е. месторождения, возникшие в результате процессов, приведших вначале к формированию скарнов, а затем наложенного на них промышленного полиметаллического оруденения (Дальнегорский район в Сихотэ-Алине, Кураминская зона в Тянь-Шане и др.). Но и для них предполагается сложное происхождение руд за счет регенерации первичной минерализации атасуйского или миргалимсайского типов.

Таким образом, среди свинцово-цинковых месторождений, связанных со скарнами, выделяются два основных подтипа: собственно регенерированные (скарновые) и скарнированные.

Скарновые свинцово-цинковые месторождения, как правило, приурочены к известнякам и контролируются крупными «сквозными» разломами. Рудные тела имеют трубообразную, неправильную и реже пластообразную форму, нередко с уходящими на глубину по разломам ответвлениями и сопровождаются зонами эндогенных геохимических ореолов — как надрудных, так и подрудных. Месторождения пространственно связаны с комплексом малых интрузий трахириолит-трахиандезитовой формации. На удалении от интрузивных контактов в относительно чистых известняках полиметаллические руды скарнами не сопровождаются.

В обоих случаях руды сложены сфалеритом, галенитом, арсенопиритом, пиритом, блеклыми рудами, реже — халькопиритом и пирротином; среднее соотношение Pb к Zn в рудах 1 : 1. Главные минеральные типы руд — галенит-сфалеритовый, халькопирит-пирротин-галенит-сфалеритовый, галенит-сфалеритовый с пирротином, галенит-пирит-сфалеритовый с арсенопиритом и сульфоантимонидами свинца. Из элементов-примесей характерны индий и кадмий.

Различаются следующие типовые обстановки нахождения разномасштабных объектов прогноза приаргунского типа: 1) металлогенические зоны — внутренние орогенные вулкано-плутонические пояса массивов ранней консолидации, развившиеся на углисто-кремнисто-карбонатном фундаменте; 2) рудные районы — крупные тектонические блоки фундамента массивов, сложенные породами углисто-кремнисто-карбонатной формации, пронизанные гипо-, субвулканическими трещинными телами лампрофиров, диоритов, сиенито-диоритов, щелочных гранитов орогенной трахириолит-трахиандезитовой формации, обрамленные наложенными терригенными (нижний этаж) и вулканогенными (верхний этаж) впадинами чехла; 3) рудные поля — приподнятые гранитизированные углисто-кремнисто-карбонатные блоки фундамента массивов, насыщенные гипо-, субвулканическими фациями пород трахириолит-трахиандезитовой формации, нередко представляющими собой отщепления, провесы и ксенолиты кровли древних гранитоидов, а также пограничные зоны между горстами фундамента и грабенами чехла, орогенные вулканические впадины; 4) месторождения — зоны «контактовых» и внутренних разломов в пределах указанных структур на участках их пересечения с трещинными телами пород трахириолит-трахиандезитовой формации.

Скарнированные свинцово-цинковые месторождения в отличие от скарновых приурочены только к трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатной или углисто-кремнисто-карбонатной формациям, располагаются в пределах конседиментационных палеоструктур (прогибов, впадин), локализуются на определенных стратиграфических уровнях рудовмещающих отложений, проявляют структурную связь с полиметаллическим, барит-полиметаллическим, колчеданно-полиметаллическим и железо-марганцевым оруденением, размещаются в экзоконтактах крупных орогенных интрузивов. В рудах в большинстве случаев сохраняются реликтовые седиментогенные текстуры; среди гранат-пироксеновых скарнов и роговиков наблюдаются иногда слоистые колчеданные руды, горизонты гематитовых или гематит-магнетитовых образований, отмечаются небольшие блоки известковистых пород и известняков, не замещенные скарнами.

Из краткой характеристики скарнированных месторождений следует, что им присущи две группы поисковых предпосылок и признаков, которые отражают, с одной стороны, закономерности локализации барит-полиметаллического или колчеданно-полиметаллического оруденения (стратиграфо-литологические, структурные, общие минералого-геохимические), а с другой — критерии скарновых месторождений (магматические, локальные минералого-геохимические).

Если для скарновых месторождений благоприятны контакты известняков с силикатными и алюмосиликатными породами (осадочными, вулканогенными, интрузивными), то для скарнированных определяющую роль играют структурно-формационные предпосылки в сочетании с магматическими, т. е. в нашем случае с ин-

Таблица 28

Схема рационального комплексирования работ по прогнозу и поискам свинцово-цинковых месторождений приаргунского типа

Стадия, подстадия	Задачи	Методы	Конечные результаты
Региональные геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000)	1. Реставрация массива ранней консолидации 2. Оконтуривание внутреннего вулканоплутонического пояса, образованного трахириолит-трахиандезитовой и углисто-кремнисто-карбонатной формациями в геосинклинальном фундаменте массива 3. Определение формационной принадлежности известных месторождений, рудопроявлений, метасоматитов 4. Составление схем структурно-формационного и металлогенического районирования	1. Гравиметрическая (наземная), аэромагнитная и инфракрасная съемки*, электроразведка (ВЭЗ), сейсморазведка (МОВ*, КМПВ*) 2. Геологическая съемка групповая* 3. Обобщение данных о глубинном строении территории 4. Палеотектонический и формационно-металлогенический анализ	Оконтуривание потенциальных металлогенических зон, рудных районов, оценка прогнозных ресурсов категории P_3
Геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками	1. Оконтуривание крупных тектонических блоков фундамента массива, сложенных углисто-кремнисто-карбонатной формацией, обрамленных терригенными и вулканогенными впадинами чехла 2. Оконтуривание геофизических аномалий и геохимических ореолов 3. Уточнение границ приподнятых углисто-кремнисто-карбонатных блоков, насыщенных гиповулканическими фациями пород трахириолит-трахиандезитовой формации и нередко являющихся отщеплениями, провесами, ксенолитами кровли древних гранитоидов, горстов фунда-	1. Аэромагнитная и гравиметрическая съемки, электроразведка (ВЭЗ, СГ, ДП, ПЭЕП), каротаж скважин (КС, ПС, ГК) 2. Геологическая съемка 3. Обобщение данных о глубинном строении площади 4. Литогеохимическая съемка по коренным и рыхлым отложениям, геохимическое опробование керна скважин 5. Формационно-фациальный и палеоструктурный анализ 6. Электроразведка (ВП, ЕП), скважинная геофизика (ЕП, ВП) 7. Бурение структурно-поисковых скважин	Оконтуривание потенциальных рудных полей, предварительная оценка прогнозных ресурсов категории P_2

	мента, грабенов и орогенных вулканических впадин чехла 4. Уточнение границ развития углеродистых, гипо-, субвулканических и покровных фаций 5. Анализ геофизических, геохимических полей и их соотношений со структурными и фациальными границами	8. Геохимическое опробование керна скважин 9. Фациальный и палеоструктурный анализ	
Поисковые работы	1. Оконтуривание и выявление рудоносности зон контактовых и внутренних разрывов в интервалах их пересечения с трещинными телами пород трахириолит-трахиандезитовой формации и горизонтами углеродсодержащих доломитовых известняков 2. Выявление и оконтуривание известковых скарнов, березитов, локально развитых геохимических ореолов, геофизических аномалий, проявлений сульфидной минерализации	1. Геолого-структурная съемка 2. Грави-, магнитометрическая съемка, электроразведка (ДП, ЕП, ВП), скважинная геофизика (ЕП, ВП), изучение петрофизических свойств горных пород 3. Литогеохимическая съемка, геохимическое опробование керна скважин 4. Бурение поисковых скважин 5. Фациальный и палеоструктурный анализ	Получение рудных подсечений, оценка прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1
Поисково-оценочные работы	1. Разбраковка рудных подсечений — рудопроявлений, выбор потенциально промышленных месторождений, обоснование их геологических границ 2. Ориентировочная геометризация контуров рудных тел 3. Оценка возможного промышленного значения выявленного месторождения с составлением технико-экономических соображений о целесообразности проведения предварительной разведки	1. Геолого-структурная съемка 2. Бурение поисково-оценочных скважин 3. Скважинная геофизика (ЕП, ВП, РВП), каротаж (КСПК, ЭГК), изучение петрофизических свойств горных пород 4. Геохимическое опробование керна скважин 5. Опробование рудных подсечений 6. Изучение фациальных особенностей и зональности околорудных пород и руд	Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2

* Методы, применяющиеся при исследовании новых районов.

Примечание. Расшифровку аббревиатур см. в табл. 25.

трузиями гранитоидов: при отсутствии одного из указанных факторов месторождения этого подтипа, как правило, не образуются.

Комплексирование работ при поисках

Последовательность прогноза и выявления свинцово-цинковых месторождений приаргунского типа в пределах субплатформенно-орогенных (континентальных) металлогенических зон фундамента и чехла массивов ранней консолидации может быть представлена в виде следующего ряда объектов поисков и их признаков: массив ранней консолидации → внутренний вулкано-плутонический пояс, образованный породами орогенной трахириолит-трахиандезитовой формации с пространственной дифференциацией гипо-, субвулканических фаций лампрофиров, диоритов, сиенито-диоритов, щелочных гранитов в пределах геосинклинального терригенно-карбонатного фундамента, нижнего терригенного и верхнего вулканогенного этажей чехла массива и покровных фаций трахириолитов и трахиандезитов верхнего вулканогенного этажа чехла → тектонические блоки геосинклинального терригенно-карбонатного фундамента массива, сложенные породами углисто-кремнисто-карбонатной формации и обрамленные наложенными терригенными и вулканогенными впадинами чехла, → приподнятые терригенно-карбонатные блоки, насыщенные гипо,- субвулканическими фациями пород трахириолит-трахиандезитовой формации и нередко являющиеся отщеплениями, провесами и ксенолитами кровли древних гранитоидов, тектонические границы горстов фундамента и грабенов чехла, орогенные вулканические впадины чехла → зоны контактовых и «внутренних» разломов и прилегающие к ним участки развития трещинных тел гипо-, субвулканических фаций пород трахириолит-трахиандезитовой формации, углеродсодержащих доломитовых известняков углисто-кремнисто-карбонатной формации и покровных фаций трахириолит-трахиандезитовой формаций → околорудные метасоматиты формации березитов, известковые скарны, локально развитые геохимические ореолы свинца, цинка, геофизические аномалии электрического поля, проявления сульфидной минерализации → рудные подсечения → залежи полиметаллических руд.

Этот ряд конкретизирован в виде прогнозно-поискового комплекса (табл. 28).

Свинцово-цинковые жильные месторождения в разнообразных комплексах (садонского типа)

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Жильные месторождения садонского типа известны в тех же складчатых системах, в которых концентрируются и скарновые месторождения. Они размещаются в трещинных зонах фундамента

и чехла массивов ранней консолидации также в пределах орогенных вулкано-плутонических поясов, сложенных породами трахириолит-трахиандезитовой формации.

Месторождения локализуются в относительно хрупких породах (гранитоиды, песчаники и др.), где широко развиты трещины скалывания и отрыва. В формировании рудных тел, обычно представляющих собой кварцевые, кварц-карбонатные, кварц-баритовые и кварц-флюоритовые жилы с сульфидами, главную роль играют процессы выполнения свободных полостей. В рудах преобладают массивные, брекчиевидные и крустификационные текстуры. Кроме рудных жил на месторождениях отмечаются жильные зоны, линейные и реже изометричные штокверки. Оруденение в жилах распределено неравномерно, часто в виде рудных столбов и гнезд. Главные минеральные типы руд — пирротин-галенит-сфалеритовый и галенит-сфалерит-баритовый.

На месторождениях нередко отмечается вертикальная зональность, обусловленная преобладанием в верхних частях рудных тел жильных минералов — барита, кальцита, флюорита и кварца, в более глубоких горизонтах сменяющихся свинцово-цинковыми рудами.

Различают следующие типовые обстановки нахождения разномасштабных объектов прогноза садонского типа: 1) металлогенические зоны — трещинные зоны в пределах орогенных вулкано-плутонических поясов массивов ранней консолидации; 2) рудные районы — зоны разломов древнего заложения в краевых частях приподнятых блоков фундамента массивов и в осевых частях грабен-синклиналей чехла; 3) рудные поля — поперечные и продольные брахиантиклинали, в приподнятых блоках фундамента массивов осложненные разрывами; 4) месторождения — разрывы в поперечных и продольных брахиантиклиналях, сопровождаемые субвулканическими дайками и штоками пород трахириолит-трахиандезитовой формации.

Размещение жильных свинцово-цинковых месторождений садонского типа подчиняется прежде всего структурному и литологическому факторам контроля оруденения. К структурным факторам относятся такие: а) системы разрывов вместе с оперяющими их сколами, сочленяющиеся с протяженными разломами древнего заложения в краевых частях приподнятых блоков фундамента — поперечных и продольных горст-брахиантиклиналей в своде региональной горст-антиклинали, причем рудовмещающие блоки отличаются небольшим эрозионным срезом гранитов или проявлением над ними сравнительно маломощной толщи вулканитов; б) крупные разрывы в осевых частях грабен-синклиналей, зонах изоклинальной складчатости, местах замыкания дополнительных складок.

Литологический контроль заключается в наиболее интенсивном развитии оруденения в хрупких гранитах фундамента, а также в сравнительно хрупких песчаниках и песчано-алевролитовых отложениях под экранирующими толщами пород другого литоло-

Таблица 29

Схема рационального комплексирования работ по прогнозу и поискам свинцово-цинковых жильных месторождений садонского типа

Стадия, подстадия	Задачи	Методы	Конечные результаты
Региональные геофизические, геологосъемочные, гидрогеологические и инженерно-геологические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000)**	1. Реставрация массива ранней консолидации 2. Оконтуривание краевого или внутреннего вулкано-плутонического пояса, образованного трахириолит-трахиандезитовой и другими формациями 3. Определение формационной принадлежности известных месторождений, рудопроявлений, метасоматитов 4. Составление схем структурно-формационного и металлогенического районирования	1. Гравиметрическая (наземная), аэромагнитная и инфракрасная съемки*, сейсморазведка (КМПВ*) 2. Геологическая съемка групповая* 3. Обобщение данных о глубинном строении территории 4. Палеотектонический и формационно-металлогенический анализ	Обоснование геологических границ металлогенической зоны, оконтуривание потенциальных рудных районов, оценка прогнозных ресурсов категории P_3
Геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с общими поисками	1. Прослеживание разломов древнего заложения в краевых частях приподнятых блоков фундамента массива и в осевых частях грабен-синклиналей чехла 2. Оконтуривание геофизических аномалий и геохимических ореолов 3. Уточнение границ поперечных и продольных брахиантиклиналей в краевых частях приподнятых блоков фундамента и осевых частях грабен-синклиналей чехла массива 4. Уточнение границ развития гипо-, субвулканических и покровных фаций	1. Аэромагнитная и гравиметрическая съемки, электроразведка (СГ, ДП, ПЭЕП), каротаж скважин (КС, ПС, ГК) 2. Геологическая съемка 3. Обобщение данных о глубинном строении площади 4. Литогеохимическая съемка по коренным и рыхлым отложениям, геохимическое опробование керна скважин 5. Формационно-фациальный и палеоструктурный анализ 6. Электроразведка (ЕП, ВП), скважинная геофизика (ЕП, ВП)	Оконтуривание потенциальных рудных полей, предварительная оценка прогнозных ресурсов категории P_2

	трахириолит-трахиандезитовой формации 5. Анализ геофизических, геохимических полей и их соотношений со структурными и фациальными границами	7. Бурение структурно-поисковых скважин 8. Геохимическое опробование керна скважин 9. Фациальный и палеоструктурный анализ	
Поисковые работы	1. Оконтуривание и выявление рудоносности зон разрывов в поперечных и продольных брахиантиклиналях, сопровождаемых породами трахириолит-трахиандезитовой формации 2. Выявление и оконтуривание березитов, симметричных геохимических ореолов, геофизических аномалий, проявлений жильной сульфидной минерализации	1. Геолого-структурная съемка 2. Сейсмоэлектрический метод (СЭМ), гравиметрическая съемка, электроразведка (ЕП, ВП), скважинная геофизика (ЕП, ВП), изучение петрофизических свойств горных пород 3. Литогеохимическая съемка, геохимическое опробование керна скважин 4. Бурение поисковых скважин 5. Фациальный и палеоструктурный анализ	Получение рудных подсечений, оценка прогнозных ресурсов категорий P_2, P_1
Поисково-оценочные работы	1. Разбраковка рудных подсечений — рудопроявлений, выбор потенциально промышленных месторождений, обоснование их геологических границ 2. Ориентировочная геометризация рудных тел 3. Оценка возможного промышленного значения выявленного месторождения с составлением технико-экономических соображений с целесообразности проведения предварительной разведки	1. Геолого-структурная съемка 2. Бурение поисково-оценочных скважин 3. Скважинная геофизика (ЕП), каротаж (КС, ПС), изучение петрофизических свойств горных пород 4. Изучение фациальных особенностей и зональности околорудных метасоматитов и руд	Оценка прогнозных ресурсов категории P_1 и запасов категории C_2

* Методы, применяющиеся при исследовании новых районов.

** Геологоразведочные работы данной подстадии целесообразно проводить лишь на территориях, перспективных на другие виды минерального сырья (золото, серебро, олово и др.).

Примечание. Расшифровку аббревиатур см. в табл. 25.

гического состава и с иными пластическими свойствами — аргиллитами и алевролитами.

Формационный контроль, как и в других зонах распространения жильных свинцово-цинковых месторождений, весьма нечеткий в связи со сквозным характером оруденения. Однако установлено, что рудные жилы и линейные рудные штокверки пространственно тяготеют к участкам концентрации даек и штоков субвулканических трахириолитов и андезитодацитов орогенной трахириолит-трахиандезитовой формации.

Комплексирование работ при поисках

Последовательность прогноза и выявления свинцово-цинковых месторождений садонского типа в пределах орогенных (континентальных) металлогенических зон фундамента и чехла массива ранней консолидации может быть представлена в виде следующего ряда объектов поисков и их признаков: массив ранней консолидации → вулкано-плутонический пояс, образованный породами орогенной трахириолит-трахиандезитовой формации, → разломы древнего заложения в краевых частях приподнятых блоков фундамента массива — поперечных и продольных брахиантиклиналей — и в осевых частях грабен-синклиналей чехла → системы разрывов, сочленяющихся с разломами древнего заложения, ограничивающих блоки хрупких пород и сопровождающихся субвулканическими дайками и штоками пород трахириолит-трахиандезитовой формации, → околорудные метасоматиты формации березитов, симметричные геохимические ореолы свинца, цинка, меди, серебра, кадмия и сурьмы, геофизические аномалии электрического поля, проявления жильно-сульфидной минерализации → рудные подсечения → жилы свинцово-цинковых руд.

Этот ряд конкретизирован в виде прогнозно-поискового комплекса (табл. 29).

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА

Сульфидные медно-никелевые месторождения

Геолого-генетические основы поисков. Поисковые критерии и признаки

Месторождения сульфидных никелево-медных, медно-никелевых и существенно никелевых руд входят в качестве естественных составляющих в дифференцированные формации базит-гипербазитовой серии магматизма, в ее мезомафическую сульфидоносную группу, выделенную А. П. Лихачевым. По соотношениям главных рудообразующих и попутных компонентов месторождения разделяются на шесть рудных субформаций (рис. 19), эквивалентных шести типам месторождений с разным составом рудоносных форма-

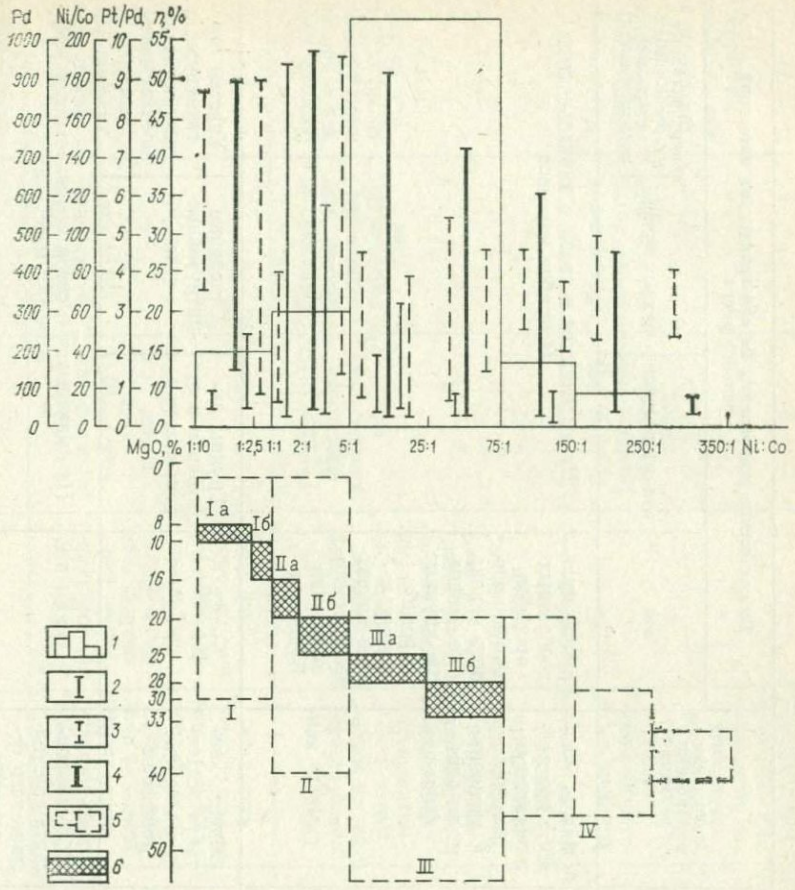


Рис. 19. Типы сульфидоносных магматических формаций и связанных с ними месторождений меди и никеля (аналитические данные по составам руд Дж. Росса и Дж. Трэвиса, по составам пород — А. П. Лихачева):

1 — распределение месторождений по величине отношения никеля к меди; *2—4* — диапазоны значений по классам никель-медного отношения (*2* — отношений платины к палладию, *3* — отношений никеля к кобальту, *4* — содержаний палладия, мг/т); *5* — диапазоны концентраций MgO в породах рудоносных формаций; *6* — усредненные гомогенизированные значения содержаний MgO в рудоносных формациях. I—III — рудоносные формации (субформации, эквивалентные им типы месторождений): I — габбро-троктолит-долеритовая (Ia — габбро-троктолитовая, дулутский тип, Iб — габбро-долеритовая, норильский тип), II — габбро-норит-пироксенит-перидотитовая (IIa — габбро-норит-пироксенит-перидотитовая, бушвельдский тип, IIб — габбро-пироксенит-перидотитовая; печенгский тип), III — пироксенит-перидотит-дунитовая, (IIIa — пироксенит-перидотитовая, камбалдинский тип, IIIб — перидотит-дунитовая, маунткейский тип); IV — формационно неклассифицированные проявления оруденения, связанного с гипербазитовым магматизмом

ций, каждая из которых возникает в специфических геотектонических обстановках (табл. 30).

Все типы месторождений, за исключением камбалдинского, в пространстве и во времени связаны с интрузивными массивами соответствующих субформаций. Для камбалдинского типа допускаются связи с ультраосновными лавами коматиитовых толщ.

Таблица 30

Геологическая позиция сульфидных медно-никелевых месторождений

Рудная субформация, тип месторождений	Геотектоническая субформация	Рудоносная субформация	Положение рудоносных субформаций	Геологические эквиваленты металлогенических категорий разного ранга			
				зон	рудных районов	рудных полей	перспективных участков (потенциальные месторождения)
Никелево-медная (медистая), дулутский	Зоны магматической протоактивизации	Габбро-троктолитовая	Область контакта кристаллического основания и древнего чехла платформ	Группы мульдообразных прогибов платформенного чехла; реже одиночные крупные прогибы с уникальными по размерам массивами типа Бушвельдского	Не выделяются в связи с уникальностью масштабов массивов		
Собственно никелево-медная, норильский	Зоны активизации платформ	Габбро-долеритовая	Область контакта осадочного чехла платформ	То же	Группы интрузивов в отдельных прогибах	Отдельные интрузивные тела	Участки интрузивных тел с признаками рудоносности
Собственно медно-никелевая, бушвельдский	Зоны магматической протоактивизации	Габбро-норит-пироксенит-перидотитовая	Область контакта кристаллического основания и древнего	»	Не выделяются в связи с уникальными масштабами массивов		

			чехла платформ				
Медно-никелевая (высоконикелистая), печенгский	Протогеосинклинали; ранние стадии развития	Габбро-пироксенит-перидотитовая	Нижние части осадочно-вулканогенных формаций протогеосинклиналей: толщи осадочных пород среди базальтов	Участки протогеосинклиналей, сложенные осадочно-вулканогенными формациями ранних стадий развития	Группы дифференцированных интрузивов	Сближенные мелкие интрузивные тела	Участки массивов с признаками рудоносности; отдельные мелкие интрузивные тела
Медисто-никелевая, камбалдинский	Архейские зеленокаменные пояса	Пироксенит-перидотитовая	Область контакта базальтовых толеитовых и коматиитовых вулканогенных формаций основания разреза зеленокаменных поясов	Зоны и отрезки зеленокаменных поясов с развитием граничащих базальтовых толеитовых и коматиитовых формаций	Группы дифференцированных потоков	Сближенные мелкие либо одиночные крупные потоки	Участки потоков с признаками рудоносности; отдельные мелкие потоки
Никелевая, маунткейский (агню)	То же	Перидотит-дунитовая	Нижние части разреза коматиитовых и верхнетолеитовых базальтовых вулканогенных формаций зеленокаменных поясов	То же	Группы дифференцированных интрузивов	Сближенные мелкие интрузивные тела	Участки массивов с признаками рудоносности; отдельные мелкие интрузивные тела

Таблица 31

Характеристики моделей сульфидных медно-никелевых месторождений различных типов

Элементы модели	Норильский тип	Печенгский тип	Камбалдинский тип
Рудоносные интрузивы, потоки (магматическое тело):			
состав	Дифференцированные габбро-долеритовые интрузивы	Дифференцированные габбро-пироксенит-перидотитовые интрузивы	Лавовые потоки оливиновых перидотитов, сменяющиеся вверх по разрезу чередованием потоков перидотитов и пикритов со спинифексовыми структурами
форма	Протяженные лентовидные и ветвящиеся по простиранию тела с раздувами в прогибах подошвы	Пластообразные и уплощенные линзовидные тела с раздувами в прогибах подошвы	Удлиненные в плане пласто- и линзовидные тела
Интрузивная рама и ее состав:			
в кровле	Потоки базальтов	Филлиты, песчано-сланцевые отложения с прослоями сульфидсодержащих углеродистых сланцев	Толеитовые базальты с широким развитием шаровых лав; прослои сульфидоносных графитсодержащих кремнистых отложений
в подошве	Осадочные образования, титан-авгитовые базальты, андезито-	То же	Толеитовые базальты с гиалокластитами; прослои шаровых

	базальты		лав и осадочных пород
Экзоконтактовые изменения:			
в кровле	Роговики, альбит-микроклиновые метасоматиты, скарны и скарноиды, биотитизация	Дометаморфические изменения не расшифрованы	Отчетливо не выражены
в подошве	То же, в ореолах существенно меньшей мощности	То же	То же
Внутреннее строение интрузива, потока (магматического тела):			Лавовые потоки оливиновых перидотитов не имеют отчетливой стратификации
верхней части	Эруптивные брекчии, гибридные породы, лейкократовое габбро	Габбро, пироксениты	
средней части	Габбро-долериты, безоливиновые, оливинсодержащие, оливиновые и пикритовые долериты	Перидотиты	
нижней (донной) части	Такситовые и контактовые долериты	Перидотиты, пироксеновые оливины	
Рудные тела:			
положение относительно магматических фаций (фаз)	В донных частях интрузивов, прогибах их подошвы, пикритовых, такситовых и контактовых долеритах, иногда в прилегающих породах подошвы	В донных частях интрузивов, прогибах их подошвы, перидотитовых и оливиновых дифференциатах, филлитах лежачего, реже висячего бока (перераспределенные руды)	Основание потоков оливиновых перидотитов на контакте с метабазальтами в прогибах их кровли

Продолжение

Элементы модели	Норильский тип	Печенгский тип	Камбалдинский тип
морфологические типы	Пластообразные и линзовидные донные залежи массивных руд в сочетании со шлировыми и вкрапленными, реже жильными рудами	Пластообразные и линзовидные, осложненные апофизами залежи массивных, брекчиевидных, прожилково-вкрапленных руд	Линзообразные тела массивных руд, сменяющихся вверх по разрезу потоков матричными и вкрапленными
состав	Пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, борнит, миллерит, пирит, халькозин, магнетит	Пирротин, пентландит, халькопирит, пирит, магнетит, борнит, кубанит, виоларит, миллерит	Пирротин, пентландит, пирит, халькопирит, миллерит, феррохромит, магнетит
Проявления рудной минерализации иного минерального и элементного состава, их положение в интрузиве, породах рамы и относительно сульфидных руд	Хромитовая и титаномагнетитовая минерализация в надрудных частях интрузивов	Хромитовая и титаномагнетитовая минерализация в надрудных частях интрузивов	Прослои и пласты колчеданных (пирит-пирротиновых) руд и железистых кварцитов в толеитовых базальтах надрудной части разреза
Геохимические ореолы	Интрузив сопровождается повышением фоновых содержаний Cu, Zn, Pb, Ag; по надрудным внутриинтрузивным и подынтрузивным ореолам однозначно интерпретируемые данные отсутствуют	От центра к краям интрузивов смена ореолов: Ni—Cu—Co—Mo—(Ag)—Zn(Mo)—Pb—(Ba)—Ba	Нет данных
Отражение в геофизических полях:			
интрузива	Грави- и магнитометрические аномалии	Магнито-, иногда гравиметрические аномалии	Нет данных
рудных тел	В благоприятных условиях — (МПП, ВП, метод заряда)	электроразведочные аномалии	То же

Месторождения дулутского типа приурочены к крупным стратифицированным массивам. Рудоносные интрузивы на месторождениях норильского типа представлены лентовидными пологозалегающими протяженными телами. Бушвельдский тип отличается гигантскими размерами расслоенных массивов. Для печенгского типа характерны небольшие силлообразные тела, занимающие межформационное положение. Маунткейтский тип отличается локализацией рудных залежей в секущих дайкообразных телах — субвулканических аналогов ультраосновных лавовых потоков.

Во всех выделенных типах месторождений первичные обстановки возникновения сульфидных руд отвечают субгоризонтальному и пологонаклонному залеганию рудоносных интрузивов либо соответственно лавовых потоков. Отклонения от этих обстановок обусловлены последующими тектоно-магматическими процессами. Результаты воздействия последних могут выражаться в изменении пространственной ориентировки рудных тел и вмещающих пород, в изменении морфологии рудных залежей, их метаморфизме с тем или иным перераспределением рудного вещества.

Главные элементы типовой модели месторождений (табл. 31) выступают в качестве прогнозных и поисковых критериев разного ранга, подлежащих выявлению на различных стадиях геологоразведочного процесса и определяющих требования к последним.

Конкретные описания моделей (см. табл. 31) даются для месторождений норильского, печенгского и камбалдинского типов — лучше других изученных и наиболее вероятных для обнаружения на территории СССР. Большая часть приведенных в таблице характеристик описывает околорудное пространство и соответствует признакам, используемым при локальном прогнозе и поисках рассматриваемых месторождений.

Сульфидные медно-никелевые месторождения принадлежат к числу немногих продуктов эндогенной металлогении, ювенильная природа источников вещества которых при всех вариантах генетических интерпретаций не оспаривается. Механизм рудонакопления рассматривается как ликвационное обособление сульфидного вещества при гравитационно-кристаллизационном расслоении несмешивающегося сульфидно-силикатного расплава, возникающего на предшествующих стадиях эволюции мантийных магматических масс. В самом общем виде рудогенез может происходить по такой схеме: формирование магм как результат частичного плавления мантийного вещества (первоисточник)→перемещение частично дифференцированных расплавов (промежуточные источники первой ступени)→разделение определенных порций расплава (промежуточные источники первой ступени)→разделение определенных порций расплава (промежуточные источники второй ступени и транспортирующие агенты) на силикатную часть с остаточными концентрациями рудного вещества и сульфидную — собственно рудную. В соответствии с этим количественная характеристика подобного процесса требует определения концентраций рудообразующих компонентов во всех главных составляющих процесса рудогенеза.

Таблица 32

Распределение основных рудообразующих компонентов в силле Раглан

Показатели	Компоненты			
	S	Ni	Cu	Co
Содержание, %:				
в массивных рудах	31,25	8,20	2,12	0,16
в верхнем, обедненном интервале силла	0,50	0,20	0,02	0,01
остаточное — на всю мощность силла без массивных руд	1,22	0,46	0,095	0,015
исходное в промежуточном источнике II — до обособления сульфидных руд *	1,95	0,64	0,145	0,019
Среднее значение вынесенных концентраций **, %	0,73	0,18	0,05	0,004

* Рассчитано путем распространения концентраций в руде на всю мощность силла.
** Определяется как разность между остаточным и исходным содержаниями.

Уровень концентрации основных рудообразующих компонентов в магматическом расплаве до обособления сульфидной составляющей, т. е. в промежуточных источниках второй ступени, оценен на примере сульфидоносного ультраосновного силла Раглан в докембрийском комплексе Канадского щита (табл. 32). Этот силл мощностью 109,3 м, залегающий между базальтами (висячий бок) и габбро, содержит в донной части массивные медно-никелевые руды мощностью 2,75 м. Силл опробован на всю мощность по трехметровым интервалам, что обеспечивает полноту аналитических данных, использованных при составлении таблицы.

Интенсивность выноса рудообразующих компонентов, рассчитанная как отношение вынесенных концентраций к первичным в силле, составляет (в %): S 37,4; Ni 28,1; Cu 34,5; Co 21,0. Уровни накопления элементов относительно выносимых и первичных содержаний оказываются соответственно следующими:
S 42,8 и 16; Ni 45,5 и 12,8; Cu 42,4 и 14,6; Co 40 и 8,43. Соотношение масс руды и силла через содержания в руде и вынесенные концентрации составляет от 1 : 40 (по Co) до 1 : 45,5 (по Ni).

Высокие исходные средние содержания в силле и значительный уровень остаточных концентраций, отражающий рассеивание основной массы рудообразующих компонентов в объеме силла, при малых величинах соотношений его массы с массой руды позволяют допускать возможность предварительного обогащения подобных расплавов — наличие промежуточных источников предшествовавших ступеней, возникающих за счет эволюции первоисточника.

В этом отношении показательны данные А. Налдритта с соавторами по медно-никелевым месторождениям «коматиитовой»

группы. Содержания в первоисточнике до дифференциации составляют (в г/т): Ni 1200; Cu 45; Co 65; Pt $0{,}9 \cdot 10^{-3}$; Pd $1{,}5 \cdot 10^{-3}$. Средний состав типичных коматиитовых руд таков: Ni 11,6 %; Cu 1,0 %; Co 0,26 %; Pt 0,61 г/т; Pd 1,2 г/т. Соответственно уровни накопления в руде относительно первоисточника следующие: Ni 97; Cu 222; Co 40; Pt 678; Pd 800. Эти значения представляются заниженными, поскольку, как показано для силла Раглан, в руды выносится не более трети первичных содержаний металлов. Утроение приведенных уровней накопления дает соотношение масс руды и первоисточника в диапазоне от 1 : 120 (по Co) до 1 : 2400 (по Pd). Значения на уровне $1 : (n \cdot 10^3)$ близки к оценкам А. Налдритта с соавторами и определяют уровень содержаний серы в первоисточнике в границах ее предельной растворимости (0,1—0,5 % в основных, 0,3—0,5 % в ультраосновных расплавах, по А. И. Альмухамедову и А. Я. Медведеву). В частности, при уровне накопления серы около 1000 и при выносе в руду около трети исходных содержаний ее концентрации в сплошных рудах (~ 40 %) обеспечиваются содержанием 0,12 % в первоисточнике (реститовые содержания на уровне 0,08 %).

Существенное преобладание массы первоисточников над массой руд и близость выносимых концентраций к кларковым позволяют считать маловероятной специализацию рудоносных расплавов в отношении особых уровней содержаний рудообразующих компонентов. Изложенные представления о природе родоначальных магм медно-никелевых месторождений и условиях возникновения последних не вводят каких-либо ограничений пространства и масс. Вследствие этого рудогенез может рассматриваться как составляющая процесса эволюции таких расплавов, происходившей при особых условиях, обеспечивающих их разделение на рудную и нерудную части, вероятно, в ряде последовательных превращений ювенильного вещества. Наличие таких рядов и возможность их реализации с различной полнотой подтверждаются существованием базит-гипербазитовых комплексов разной степени рудоносности, отражающих ступенчатый характер процесса рудонакопления, осуществляемого далеко не всегда в полном объеме с достижением максимумов концентраций Ni, Cu, Co, S и других элементов.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков

Реально наблюдаемые обстановки нахождения месторождений, как правило, отличаются от обстановок их возникновения за счет изменения пространственной ориентировки рудоносных интрузивов при последующих тектонических деформациях. Эти процессы могут сопровождаться также метаморфическими преобразованиями рудовмещающих пород и руд, перегруппировкой части рудного вещества и тем или иным его перемещением. Тем не менее наложенные процессы не приводят к искажению охарактеризованных

Таблица 33

Набор поисковых признаков в разных условиях ведения поисков

Поисковые критерии и признаки (элементы моделей)	Условия ведения поисков (в соответствии с вариантами положения эрозионного среза — см. рис. 20) и наборы признаков		
	малоблагоприятные (I, II, III)	умеренно благоприятные (IV, V)	благоприятные (VI, VII, VIII)
Потенциально рудоносный интрузив	—	о +	о +
Экзоконтактовые изменения:			
в кровле	н +	о +	о +
в подошве	н +	о +	о +
перед фронтом	н +	—	—
Геофизические аномалии:			
гравиметрические	н +	о +	о +
магнитометрические	н +	о +	о +
электроразведочных методов	н ±	н ±	о +
Геохимические ореолы:			
внутриинтрузивные			
околорудные фронтальные	—	н ±	н ±
надрудные	—	о ±	о +
тыловые	—	н ±	н ±
внеинтрузивные			
фронтальные	н ±	—	—
надынтрузивные	н ±	о +	о +
подынтрузивные	н ±	о +	о +
Внутреннее строение интрузива и состав дифференциатов его разных частей:			
верхних	—	о +	о +
средних	—	о +	о +
нижних	—	о +	о +
Проявления рудной минерализации иного элементного и минерального состава	н ±	н ±	н ±
Вкрапленная рудная минерализация:			
экзоконтактовая (в лежачем боку)	н +	н ±	н +
в кровле	—	н ±	н +
внутри интрузива	—	о ±	о +
Жильные и массивные руды	±	±	о +

Примечание. Роль признака для опознания объекта поисков: определяющая — «о», неоднозначно интерпретируемая — «н»; в сочетании с другими признаками: наличие признака — «+», отсутствие — «—», возможное присутствие — «±».

моделей и составляющих их элементов в масштабах, влияющих на строение объектов поисков и методику соответствующих геологоразведочных работ.

Обстановки нахождения месторождений и условия ведения поисков определяются в первую очередь изменением пространственной ориентировки модели объекта поисков от ее первичного (на

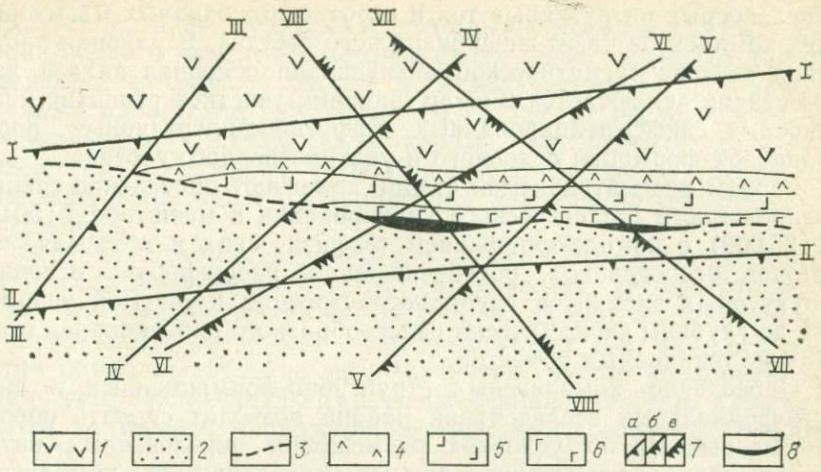


Рис. 20. Схематическая модель месторождения сульфидных медно-никелевых руд с разными вариантами положения эрозионного среза, отвечающими различной пространственной ориентировке рудных тел и определяющими условия поисков:

1—2 — породы интрузивной рамы (1 — кровли, 2 — подошвы); *3* — контакт, контролирующий позицию рудоносного интрузива; *4—6* — дифференциаты различных частей рудоносного интрузива (*4* — верхних, *5* — средних, *6* — нижних, рудоносных); 7 — варианты положения эрозионного среза: *а* — малоблагоприятные (I—III), *б* — умеренно благоприятные (IV—V), в — неблагоприятные (VI—VIII); 8 — рудные тела

период рудообразования) положения. Эти отклонения отражаются в разных вариантах позиции поверхности эрозионного среза относительно осей модели (рис. 20). Этими и подобными вариантами обусловливается разная степень благоприятности ведения поисков и набор доступных для обнаружения элементов модели, т. е. поисковых критериев и признаков (табл. 33). Из таблицы видно, что различные по благоприятности проведения поисков обстановки отличаются как по набору доступных для обнаружения признаков, так и по относительной роли каждого из признаков соответствующей совокупности для опознания объекта поисков. В наиболее общем случае неблагоприятные обстановки характеризуются существенно большим числом неоднозначно интерпретируемых признаков, выявляемых как прямыми (геологические, геохимические), так и косвенными методами.

Требования к результатам работ по стадиям геологоразведочного процесса

Общие поиски. Организация и постановка работ этой стадии предусматриваются на площади потенциальных рудных районов, обнаруженных на подстадии проведения региональных геологосъемочных и геофизических работ и получивших оценку прогнозных ресурсов по категории P_3.

Основная задача работ в пределах щитов и выступов древних структур — выявление и оконтуривание участков распространения

никеленосных интрузивных тел и стратифицированных магматических комплексов базит-гипербазитового состава. В районах проявления тектоно-магматической активизации основная задача данной стадии заключается в оконтуривании участков развития никеленосных дифференцированных эффузивно-интрузивных пород трапповой формации основного и ультраосновного состава.

Работы рассматриваемой стадии включают проведение специализированного геологического картирования в масштабе 1 : 50 000 (1 : 25 000) с комплексированием геофизических и геохимических методов исследования, обеспечивающих расшифровку основных структурных элементов глубинного строения изучаемой территории до глубины экономически целесообразного опоискования и выявление ожидаемых объектов.

Проведение комплексных структурно-формационных и литолого-фациальных исследований района позволит сделать обоснованные выводы об условиях размещения никеленосных интрузивных тел и стратифицированных магматических комплексов, эквивалентных потенциальным рудным полям.

Предпроектный прогноз этой стадии предусматривает разбраковку участков развития никеленосных магматических комплексов, слагающих потенциальные рудные поля в различных геотектонических обстановках, по степени перспективности и очередности их освоения с выполнением необходимых видов и объемов работ.

В итоге выполнения работ данной стадии для изучаемой территории должны быть составлены геологическая и прогнозная карты в масштабе 1 : 50 000 (1 : 25 000) с выделением на них потенциальных рудных полей и перспективных участков и оценкой их прогнозных ресурсов по категории P_2.

Поисковые работы. Основная задача исследований — выявление и прослеживание в пределах рудоносных эшелонированных магматических колонн участков, которые обогащены сульфидной минерализацией и могут соответствовать потенциальному месторождению.

Предпроектный прогноз стадии поисковых работ предусматривает разбраковку участков по степени перспективности и очередности их освоения с выполнением необходимых видов и объемов работ, обеспечивающих решение поставленных задач.

Поисково-оценочные работы (для всех промышленных типов). Постановка поисково-оценочной стадии базируется на анализе материалов и разбраковке выделенных в результате выполнения предыдущих исследований прогнозных участков по степени перспективности и очередности их освоения.

В задачу работ данной стадии входит определение условий залегания и прослеживание в пределах потенциальных рудных полей меденосных стратиграфических уровней, контроль рудоносных интрузий и локальных участков промышленного оруденения.

Работы поисково-оценочной стадии включают бурение скважин картировочного и поисково-разведочного бурения и проходку необходимого объема горных выработок, обеспечивающих решение

задач этой стадии, применение наземных методов магнито- и электроразведки и комплекса методов скважинной геофизики для опоискования и оценки около- и межскважинного пространства, а также проведение детальных геохимических исследований. Одновременно осуществляются детальные минералогические и лабораторные исследования технологических свойств и качеств руд с целью определения промышленной значимости установленного оруденения.

В результате исследований для изучаемой территории должны быть составлены схематическая геологическая, литолого-фациальная и палеотектоническая карты, сопровождающиеся продольными и поперечными разрезами и погоризонтными планами, отражающими объемное строение перспективного участка до уровня, экономически обоснованного для опоискования. Масштаб карт определяется размерами и сложностью изучаемого объекта (1 : 5000—1 : 1000).

При проведении работ поисково-оценочной стадии необходимо выполнить комплекс геологических, геофизических и геохимических методов исследований, обеспечивающих оценку прогнозных ресурсов в пределах выявленных объектов по категории P_1 и частично запасов по категории C_2, а также составление технико-экономических соображений с приближенной оценкой промышленного значения конкретного участка и обоснованием целесообразности передачи его в предварительную разведку.

Комплексирование работ при поисках

В наиболее общем случае обнаружение рудных тел обеспечивается последовательным решением таких задач: 1) выявление интрузивных (магматических) тел базит-гипербазитовой серии (выходящих на поверхность, перекрытых рыхлыми отложениями, скрытых); 2) установление по случайному положению эрозионного среза или пересечению скважинами принадлежности массива к потенциальным рудоносным; 3) определение позиции того или иного пересечения относительно минерализованных частей интрузива вообще и массивных руд в частности; 4) вскрытие участка возможного нахождения рудных тел.

Решение каждой из этих задач требует постановки комплекса методов, учитывающего условия ведения как общих поисков, так и поисковых работ. Принципиальная схема комплексирования, базирующаяся на апробированных и широко используемых методах, приведена в табл. 34.

Таблица 34

Схема комплексирования работ при общих поисках и поисковых работах на сульфидных медно-никелевых и никелевых месторождениях

Методы работы в очередности постановки	Задачи работ					
	Выявление интрузивных тел			Определение принадлежности интрузивных тел к рудоносным	Выяснение позиции минерализованных частей интрузивов	Обнаружение рудных тел и предварительная оценка их масштабов
	выходящих на поверхность	перекрытых наносами	скрытых			
Геологосъемочные работы масштаба 1 : 50 000	+	+	+	+	—	—
Геохимические поиски масштаба 1 : 50 000—1 : 10 000:			—			
по вторичным ореолам	±	±	—	—	—	—
по первичным ореолам	±	—	±	+	±	—
Гравиметрические съемки масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000	—	±	±	±	—	—
Аэромагнитометрические съемки масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000	+	±	±	±	—	—
Сейсморазведка	—	—	+	—	—	—
Наземные магнитометрические съемки масштаба 1 : 10 000	—	—	+	—	±	—
Электроразведка:						
ЕП	±	—	—	—	—	—
ВП	±	—	—	±	+	—
МПП	±	—	—	±	+	—
Бурение структурно-поисковых скважин по опорным профилям	—	—	+	+	+	+
Скважинные геофизические методы:						
МЗ	—	—	—	—	—	+
МПП	—	—	—	—	+	+
РВП	—	—	—	—	—	+

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: «+» — метод обеспечивает решение задачи; ± — результаты работ допускают неоднозначную интерпретацию; «—» — метод не обеспечивает решение задачи или не применяется.

Силикатные никелевые месторождения коры выветривания

Геолого-генетические основы ведения поисков. Поисковые критерии и признаки

Месторождения никеля, связанные с корами выветривания ультрабазитов, принадлежат к элювиальной (остаточной) и осадочной группам. Основная масса промышленных объектов сосредоточена в месторождениях элювиальной группы.

В сводном профиле элювиальной коры выветривания снизу вверх выделяются следующие зоны [21]: 1) ультраосновных пород — дунитов и перидотитов, как правило, серпентинизированных; 2) дезинтегрированных и карбонатизированных серпентинитов с многочисленными прослойками магнезита, включениями арагонита, иногда доломита (мощностью 5—10 м); 3) выщелоченных серпентинитов (керолитовая) — обохренных, пористых, часто ноздревато-сетчатых пород с карбонатами, кварцем и опалом (3—9 м); 4) силифицированных серпентинитов — плотных сливных, иногда сетчатых пород блекло-коричневого цвета, обычно более чем на 80 % сложенных минералами кремнезема (0,5—4,0 м); 5) нонтронитов — пластичных, в сухом состоянии сравнительно легких (объемная масса 1,1—1,3 г/см^3) глинистых пород табачно- или оливково-зеленого цвета, часто сохраняющих реликтовую отдельность и структуру материнских пород; по плоскостям отдельности обычно развиты дендриты минералов марганца и оксидов железа (2—10 м); 6) охр — рыхлых, редко слоистых, в сухом виде иногда сыпучих желтых, красных, вишневых пород, на 50—80 % состоящих из минералов гидроксидов железа (2—15 м); 7) кирасы — сцементированных кавернозных, иногда сливных пород с объемной массой более 3 г/см^3, образованных преимущественно из оксидов и гидроксидов железа (1—5 м); в зависимости от количественных соотношений алюминия и кремния кирасы подразделяются на кремнистые и глиноземистые; последние характерны для верхних горизонтов — латеритных покровов современной тропической зоны Земли (рис. 21).

Промышленные содержания никеля могут быть встречены практически в любой зоне профиля. Для месторождений СССР характерны концентрации никеля в зоне нонтронитов, в то время как на Кубе наиболее продуктивны зоны серпентинитов и охр с гнездами нонтронита.

Кобальт, всегда сопутствующий никелю, в корах выветривания находится почти исключительно в составе кобальтоносных вадов (асболанов). Поскольку марганцевые минералы локализуются преимущественно в зоне охр, соответственно верхние горизонты элювия ультраосновных пород, как правило, более богаты кобальтом, чем расположенные ниже зоны.

Известные профили выветривания принадлежат к трем группам, каждая из которых кроме различий в вещественном составе характеризуется преобладанием строго определенного типа

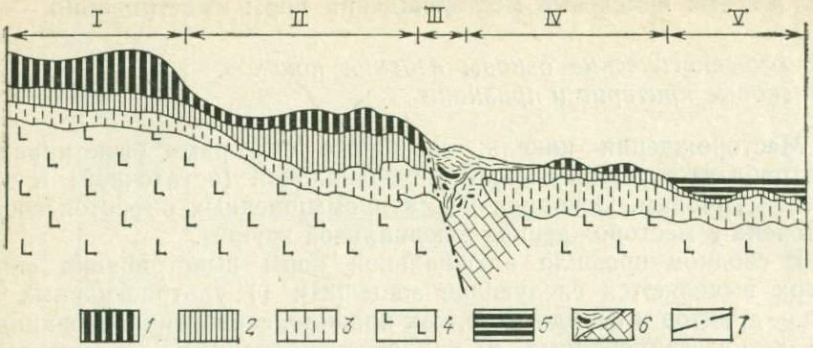


Рис. 21. Схема размещения разнофациальных типов кор выветривания:
I — высокие пенеплены, II — холмистые нагорья, III — карстовые просадки, IV — холмистые низменные равнины, V — депрессии;
1—3 — зоны: *1* — структурных охр и кирасы, *2* — нонтронитов, *3* — выщелоченных и дезинтегрированных серпентинитов; *4* — серпентиниты; *5* — осадочные образования; *6* — карст на участке развития известняков; *7* — разломы

оксидных руд, что является важнейшим показателем при выборе технологической схемы переработки сырья; это следующие профили выветривания: 1) охристый — железистые Ni-Co руды (27—30 % и более Fe_2O_3); 2) охристо-нонтронитовый — силикатные Ni-Co руды (45—50 % и более SiO_2); 3) охристо-серпентинитовый — магнезиальные Ni-Co руды (более 15 % MgO).

Преобладающее развитие определенного профиля выветривания в значительной мере обусловливает промышленный тип элювиальных месторождений никеля. При этом главным фактором, влияющим на возникновение того или иного профиля, являются фациальные обстановки формирования кор выветривания.

Осадочные месторождения никеля — конечный член фациального ряда, берущего начало от кор выветривания высоких пенепленов. В зависимости от состава субстрата различают два морфологических типа осадочных месторождений: карстовый (карбонатный субстрат) и склоновый (алюмосиликатный субстрат). Кроме того, к осадочному типу близки руды депрессионного (озерно-болотного) типа.

К характерным особенностям почти всех месторождений карстового типа относятся крайняя невыдержанность рудных залежей, резкое колебание содержаний никеля (от десятых долей процента до 5 %), присутствие значительных количеств никелевых силикатов (непуита, ревдинскита), а также ферригаллуазита, почти полное отсутствие кобальта. Никелевые руды карстовых месторождений, как правило, высокомагнезиальны и всегда относительно обогащены глиноземом.

Склоновые (делювиальные, делювиально-пролювиальные) месторождения никеля самостоятельного промышленного значения не имеют.

Образование месторождений силикатных и оксидных никелевых и железо-никелевых руд связано не только с особенностями

геологического строения того или иного региона, но и с климатом, господствовавшим в течение определенных геологических периодов, и геологической историей данной области. Появление рудных экзогенных концентраций никеля строго подчиняется двум основным факторам: наличию в районе массивов ультраосновных (как правило, серпентинизированных) пород и выходу этих массивов под эрозионный срез эпох корообразования.

Эти два главных региональных критерия могут быть использованы для поисков только известных типов экзогенных месторождений никеля, а детализация их позволяет наметить ряд локальных критериев для оценки конкретных площадей возможного развития месторождения.

Чрезвычайно важно при локальном прогнозировании рудных залежей в пределах коры выветривания ультрабазитового массива установить приуроченность оруденения к определенной зоне профиля, а также возможность многократного повторения рудных тел в разрезе (формирование «слоеного пирога»).

Значимым локальным критерием поисков является и состав пород, вмещающих ультраосновной массив. Наиболее благоприятны для образования никелевых руд известняки; в них на границе с ультрабазитами, как правило, возникают карстовые полости, в которых концентрируются наиболее богатые руды. Существенное влияние на локализацию элювиальных рудных залежей оказывают также дайки среднего или основного состава, играющие роль внутренних геохимических барьеров.

К одним из важнейших локальных критериев поисков экзогенных месторождений никеля относятся тектонические особенности изучаемых массивов; эти особенности обусловливают, с одной стороны, геоморфологическое строение региона и тем самым — возникновение определенных фациальных типов кор выветривания, а с другой — степень раздробленности массивов и глубину проникновения процессов выветривания и в конечном счете — морфологию и зональность формирующейся коры выветривания.

Требования к результатам работ и их комплексирование при поисках

Общие поиски. На этой стадии оценка возможности обнаружения в регионе промышленных месторождений элювиальных руд никеля начинается с анализа имеющихся геологических материалов, в которых могут быть зафиксированы серпентинитовые массивы с корой выветривания, причем линейная кора или контакты с известняками могут быть изображены только схематично, условными значками. Следует учитывать, что промышленные силикатно-никелевые месторождения средних и даже крупных размеров нередко бывают приурочены к весьма небольшим массивам площадью 5—10 км^2 или их контактам.

Соответственно масштабу геологической съемки выбирается и масштаб аэрогеофизических исследований; наиболее перспективные участки должны быть засняты более детально. Задачи

аэрогеофизических исследований следующие: 1) выявление массивов ультрабазитов площадью 2—3 км^2 и более; 2) определение (приближенно) глубины их залегания и мощности покрывающих отложений (включая и кору выветривания); 3) уточнение общей геологической структуры района — выделение крупных разломов, контролирующих расположение ультрабазитовых интрузий, прослеживание толщ известняков и др.

Основным методом при решении этих задач является аэромагнитометрия. Причем в условиях равнинной и степной местности полеты с аэромагнитометрами могут совершаться на очень небольшой высоте (100—200 м и менее), что должно обеспечить выявление даже весьма небольших аномалий, отвечающих телам ультрабазитов. Для определения мощности рыхлых отложений аэромагнитные методы следует сочетать с аэроэлектрометодами.

При проведении геологических и аэрогеофизических исследований масштаба 1 : 50 000 необходимо учитывать, что в районах распространения коры выветривания они в большей мере выполняют функции поисковых работ. Картированию, как правило, подлежат коренные породы, все структурно-тектонические элементы, кора выветривания изверженных, метаморфических и осадочных пород, в том числе с возможно большей детальностью — кора на ультрабазитах, перекрывающие кору континентальные и морские отложения. Особенно тщательно должны быть прослежены контакты серпентинитовых массивов с известняками (мраморами).

Картирование и изучение закономерностей расположения даек диабазов, диоритов, габбро-пегматитов и других жильных пород — одна из существенных задач геолога-съемщика.

Наряду с обычными методами геологической съемки для картирования коры выветривания и поисков силикатных никелевых месторождений на данной стадии геологоразведочных работ должен возможно шире применяться метод искусственных обнажений. Необходимо также использовать керн скважин, которые бурятся для разведки на воду и другие полезные ископаемые.

Следует особо отметить, что литологическое и минералогическое изучение рыхлых и глинистых продуктов выветривания ультрабазитов и других пород, а также осадочных континентальных отложений представляет известные трудности, требует опыта и применения специальных методов исследования (гранулометрический анализ, иммерсионный и рентгенометрический методы исследования минералов и др.). В случае обнаружения коры выветривания опробование ее на никель должно проводиться раздельно для главных литологических разностей: охр, нонтронитов, разложенных серпентинитов, выщелоченных серпентинитов и др.

Более тщательно изучаются благоприятные площади, выделенные на начальных этапах работ, определяются контуры развития рудоносных формаций, рассматриваются вопросы аналогии их известным формациям других районов. В зависимости от степени аналогии эмпирически выбирается коэффициент достоверности и дается оценка возможных прогнозных ресурсов категории P_2.

При выявлении принципиально нового типа рудоносных формаций их количественная оценка может быть проведена только на стадии поисковых работ.

Поисковые работы. Цель работ этой стадии — оценить возможность присутствия на территории промышленных месторождений элювиальных руд никеля, подсчитать прогнозные ресурсы по категориям P_1 и P_2 и составить рекомендации по переводу прогнозных ресурсов в запасы промышленных категорий. Методика работ во многом зависит от особенностей рудоносной формации и геологического строения конкретного района.

Поисковые работы на силикатные никелевые месторождения производятся, как и в других случаях, комплексно — путем геологической и геофизической съемки масштаба 1 : 10 000. В более крупном масштабе картируются массивы ультрабазитов в условиях значительного развития такситовых (переходных) пород, а также широкого распространения среди серпентинитов даек жильных пород, поскольку с этими образованиями связано интенсивное выветривание и наиболее мощная, а часто и наиболее богатая никелем кора выветривания.

Специальные задачи крупномасштабной геологической съемки следующие: 1) картирование выходов, не затронутых выветриванием ультрабазитов и вмещающих пород, расчленение их по возрасту, петрографическому и литологическому составу, условиям залегания, изучение геологических структур; 2) оконтуривание площадей с сохранившейся корой выветривания на ультрабазитах, выделение возрастных, генетических и морфологических типов коры; 3) в случае развития известняков — картирование зоны их контакта с серпентинитами (нанесение контуров карста, депрессий в рельефе местности, выходов продуктов выветривания); 4) картирование выходов полезных ископаемых, связанных с породами фундамента (хромиты и др.) и корой выветривания (бокситы, магнезиты, огнеупорные глины, минеральные краски и др.); 5) оконтуривание закрытых участков, на которых возможно присутствие коры выветривания по ультрабазитам, подлежащих исследованию геофизическими методами и с применением бурения; 6) картирование покровных континентальных и морских отложений.

Параллельно с геологической должна выполняться геоморфологическая съемка, задача которой состоит в изучении закономерностей размещения коры выветривания и связи последней с пенепленом и другими геоморфологическими зонами.

Детальная геологическая карта обычно составляется в два этапа: в первый сезон отстраивается предварительная схематическая карта, а во второй — окончательная с использованием материалов картировочного и поискового бурения.

На стадии поисковых работ никелевых месторождений коры выветривания к основным поисковым признакам относятся следующие: 1) приуроченность месторождений к контактам массивов; 2) развитие в краевых частях массивов такситовых пород, т. е. ультрабазитов, перемежающихся с амфиболитами и другими по-

родами; 3) обилие среди серпентинитов крупных и мелких даек жильных пород среднего и кислого состава, вдоль которых формируется более богатая никелем и кобальтом кора; 4) наличие останцов (ксенолитов) кровли, также способствующих обогащению коры никелем и кобальтом; 5) интенсивная трещиноватость массивов серпентинитов; 6) тектоническая нарушенность известняков и серпентинитов в зонах их контакта; 7) наличие в зонах контакта этих пород обширных воронок и котловин (депрессий) карстового происхождения; 8) развитие в пределах серпентинитовых массивов неглубоких плоских котловин, образующихся в результате выноса части продуктов выветривания; 9) выходы в виде гряд и бугров окремненных серпентинитов, сопровождаемых зеленым халцедоном, а также высыпки желтых охр, черных марганцевых глин и щебенки, выбросы нонтронита и др.

Для исследования закрытых участков и больших площадей серпентинитовых массивов, где обычные методы съемки и поисков неприменимы, необходимо использовать геофизические методы, картировочное и поисковое бурение. Наиболее широко применяется детальная магнитная съемка, перед которой ставится задача уточнить контуры серпентинитового массива, выявить более мелкие интрузии ультрабазитов, оконтурить останцы кровли вмещающих пород и крупные дайки жильных пород. В комплексе с ней может использоваться электроразведка, задача которой — оконтуривание заполненных рыхлыми продуктами выветривания карстовых воронок в зонах контакта серпентинитов с известняками и углублений на поверхности серпентинитовых массивов, а также определение глубины таких депрессий. Для выполнения этих исследований рекомендуются методы вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и кругового профилирования. Материалы геофизической съемки используются как при поисково-оценочных, так и при разведочных работах, в частности, позволяют более рационально разместить буровые скважины.

Поисково-оценочные работы на месторождениях, приуроченных к коре выветривания серпентинитов как площадного распространения, так и линейно-трещинного типа, сводятся к разбуриванию по редкой сети участков, прилегающих к выходам коры выветривания, и определению в руде содержаний никеля, кобальта и железа.

Более сложными являются поисково-оценочные работы на месторождениях контактово-карстового типа, что обусловлено большой глубиной залегания руд и многообразием форм рудных тел. Работы состоят в разбуривании площадок по нескольким профилям, заложенным вкрест простирания зоны контакта. При обнаружении во всех или в некоторых пройденных скважинах руд значительной мощности с кондиционным содержанием никеля на оцениваемом участке определяются предварительно оцененные запасы категории C_2 и прогнозные ресурсы категории P_1; участок рекомендуется для постановки более детальных работ.

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРИНЦИПЫ РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Основной задачей геологоразведочных работ на месторождениях цветных металлов является получение всех данных, необходимых для определения их промышленного значения,— сведений о количестве руды и металлов, качестве руд, природных и географо-экономических условиях, в которых они находятся.

Для установления количества руды и металлов требуется выяснить размеры и форму как месторождения в целом, так и составляющих его рудных тел. Качество руд обусловлено их химическим и минеральным составом, содержанием основных и сопутствующих полезных компонентов, наличием и составом шлакообразующих оксидов, вредных примесей, природными типами и сортами, технологическими особенностями переработки. Природные условия нахождения рудных тел — глубина и элементы залегания, физические свойства руд и вмещающих пород, степень обводненности — определяют выбор системы отработки месторождения, а соответственно и необходимых технических средств. Географо-экономические условия — освоенность района, наличие транспорта, энергетики, строительных материалов, технической и питьевой воды — существенно влияют на оценку промышленного значения месторождений и экономическую эффективность их освоения.

К основным принципам разведочных работ относятся, по В. М. Крейтеру [16], следующие: 1) последовательных приближений (включая принцип геологического прогноза и его проверки); 2) полноты исследований; 3) равной достоверности (равномерности); 4) наименьших затрат средств и времени.

Принцип последовательных приближений отражает последовательное наращивание знаний об изучаемом объекте, возрастание детальности исследований от стадии к стадии разведочного процесса — от приближенного оконтуривания месторождений в целом на стадиях поисково-оценочных работ и предварительной разведки до детального изучения морфологии и внутреннего строения конкретных рудных тел и их частей на стадиях детальной и эксплуатационной разведки. С принципом последовательных приближений тесно связан принцип геологического прогноза и его проверки, сформулированный А. В. Пэком; этот принцип устанавливает приоритет научного предвидения на любой стадии геологических исследований и

необходимость практической проверки выдвигаемых положений: подтверждения их фактическими данными или опровержения; в последнем случае сложившиеся представления о геологических особенностях разведываемого объекта должны быть пересмотрены, а в принятую методику работ — внесены коррективы.

Принцип полноты исследований требует не только установления количества и качества минерального сырья, но и своевременного получения всех данных, необходимых для оценки месторождений, проектирования и строительства горнорудных предприятий,— комплексного изучения руд на попутные полезные компоненты, тесно взаимосвязанного с технологическими исследованиями, выявления горнотехнических условий отработки и обводненности месторождения, изучения географо-экономических особенностей района, возможностей утилизации отходов горно-обогатительного предприятия, разработки мероприятий по охране окружающей среды и т. п.

Принцип равной достоверности (равномерности) определяет, в первую очередь, необходимость получения при разведке равномерной (представительной) выборки, соответствующей природным особенностям месторождений — равномерного расположения разведочных выработок либо по квадратной сети (при одинаковой изменчивости параметров рудных тел в разных направлениях), либо по прямоугольной, ориентированной короткой стороной в направлении максимальной изменчивости; равных расстояний между пробами в разведочных выработках; большей плотности разведочной сети в участках сложного строения для получения разведочных данных, равноценных по достоверности данным по участкам простого строения; систематического (равномерного) контроля результатов аналитических работ и т. п.

Для соблюдения принципа наименьших затрат средств и времени следует рационально организовывать разведочный процесс, внедрять новейшие достижения науки и техники, совершенствовать методики разведки различных типов месторождений, разрабатывать и использовать более совершенное высокопроизводительное буровое и горнопроходческое оборудование и геофизическую аппаратуру.

В процессе разведочных работ широко применяется также принцип геологических аналогий (подобия), основанный на анализе и использовании многолетнего опыта разведки месторождений, подобных (аналогичных) разведываемому по размерам, морфологии рудных тел, их внутреннему строению, химическому и минеральному составу руд, степени тектонической нарушенности, метаморфизму руд и вмещающих пород и другим признакам. Выбранная плотность разведочной сети — расстояние между разведочными разрезами и разведочными выработками в них — в общем случае должна обеспечивать получение сопоставимых (аналогичных) данных: конфигурация рудных тел в смежных разрезах должна быть подобной, а их мощности, состав и качественные показатели руд по соседним разведочным выработ-

кам — сопоставимыми. При нарушении этого условия появляется необходимость проходки дополнительных промежуточных выработок, сгущения разведочной сети, перехода от буровых систем разведки к горно-буровым или горным и т. д.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МЕТОДИКУ РАЗВЕДКИ И НЕОБХОДИМУЮ ПЛОТНОСТЬ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ

Месторождения цветных металлов характеризуются большим разнообразием рудных тел, отличающихся по размерам, форме, внутреннему строению, степени тектонической нарушенности, распределению полезных компонентов. Все эти факторы в той или иной мере влияют на выбор методики разведки, видов разведочных выработок и рациональной плотности разведочной сети. По размерам рудные тела месторождений цветных металлов различаются весьма существенно: длина их по простиранию и падению составляет от первых десятков метров (некоторые скарновые, жильные и колчеданные месторождения) до первых километров (месторождения вкрапленных медно-никелевых руд в дифференцированных интрузивах, медно-порфировые, медистых песчаников и сланцев, стратиформные свинцово-цинковые), мощность — от первых метров (месторождения медистых песчаников и сланцев, жильные) до 100 м, иногда и более (некоторые колчеданные и медно-порфировые месторождения). При разведке важно учитывать в первую очередь размеры рудных тел в плане или плоскости их падения, определяющие выбор рациональной плотности разведочной сети (мощность рудных тел учитывается при обосновании длины разведочных выработок).

По размерам различают четыре группы рудных тел месторождений цветных металлов:

	Длина по простиранию, м	*Ширина в плане или плоскости падения, м*
1. Крупные	>1000	>500
2. Средние	300—1000	200—500
3. Мелкие	100—300	100—200
4. Очень мелкие	<100	<100

Месторождения с рудными телами первых двух групп могут быть разведаны в основном бурением, третьей — путем комбинирования горных и буровых работ, четвертой — в основном подземными горными выработками. Плотность разведочной сети для разведки крупных рудных тел принимается минимальной, для мелких — максимальной. Для разведки очень мелких рудных тел часто необходимо их непрерывное прослеживание как по простиранию, так и по падению.

По форме рудные тела месторождений цветных металлов также разнообразны. Среди них известны представители всех основных морфологических типов: 1) грубоизометричные — штокверки, штоки, небольшие тела причудливых очертаний; 2) пло-

ские — пластовые, пласто- и плащеобразные залежи, линзо- и жижилообразные тела; 3) сильно удлиненные в одном направлении — лентовидные и ветвящиеся залежи, рудные столбы.

Форма рудных тел предопределяет выбор ориентировки и расположения разведочных разрезов. Для грубоизометричных рудных тел ориентировка разведочных разрезов (преимущественно вертикальных) может быть различной с учетом основных структурных элементов месторождения. Для плоских рудных тел вертикальные разведочные разрезы ориентируются вкрест их простирания; в ряде случаев требуется комбинирование вертикальных и горизонтальных разрезов. Для сильно удлиненных рудных тел необходимо создание разведочных разрезов, ориентированных примерно перпендикулярно к их длинной оси (горизонтальных для крутопадающих рудных тел и вертикальных для пологозалегающих).

Форма разведочной сети для грубоизометричных рудных тел обычно принимается квадратной, для плоских в зависимости от их внутреннего строения — квадратной или прямоугольной, для сильно удлиненных — расстояние между разведочными разрезами, как правило, в несколько раз превышает таковое между разведочными выработками в них. Расположение и число вертикальных и горизонтальных разрезов или их комбинаций должны обеспечивать максимально возможную детальность выявления морфологических особенностей рудных тел минимальными объемами разведочных выработок, чему способствует также применение рудной геофизики.

Внутреннее строение рудных тел определяет их сплошность, характеризуемую наличием (или отсутствием) слабоминерализованных или безрудных прослоев и различной формы безрудных участков, а также их размерами. Безрудные участки значительных размеров должны оконтуриваться при детальной разведке, небольшие — учитываться статистически и оконтуриваться при эксплуатационных работах. Прерывистость оруденения, свойственная преимущественно штокверковым медно-порфировым месторождениям, выражается через площадные или линейные коэффициенты рудоносности и конкретные размеры безрудных участков. Для подтверждения сплошности оруденения на сложных объектах необходима проходка прослеживающих горных выработок.

Степень тектонической нарушенности месторождений, имеющая важное значение при разведке, обычно отражена в форме рудных тел и элементах их залегания. Она существенным образом влияет на ориентировку разведочных выработок: скважины бурятся вертикальными или наклонными с расчетом пересечения рудных тел примерно под прямым углом, горизонтальные горные выработки проходятся с учетом простирания прослеживаемых рудных тел; на отдельных участках выработки наклонные — с учетом среднего угла их падения. В случае, если крупное рудное тело расчленено на серию разобщенных блоков, каждый из них

нередко должен рассматриваться как самостоятельный разведочный объект.

Характер распределения полезных компонентов обусловливает пространственную изменчивость их содержаний (закономерную и случайную), которая отражается графическим или аналитическим способами. В качестве меры случайной изменчивости содержаний полезных компонентов используется коэффициент вариации содержаний. В зависимости от его величины месторождения полезных ископаемых подразделяются (по градации Н. В. Барышева) на четыре группы:

	Коэффициент вариации содержаний, % *
1. Равномерная	(5—40)/30
2. Неравномерная	(40—100)/80
3. Весьма неравномерная	(100—150)/130
4 .Крайне неравномерная	(>150)/200

* В числителе предельные значения, в знаменателе — средние.

Большинство месторождений цветных металлов принадлежит к первой и второй группам, месторождения третьей группы сравнительно редки, а единичные представители четвертой группы известны только среди наиболее сложных по распределению оруденения месторождений кобальта. Характер распределения полезных компонентов должен учитываться при установлении плотности разведочной сети, выборе методики опробования и расстояний между разведочными пробами в горных выработках.

Случайная изменчивость мощности рудных тел выражается также через коэффициент вариации или графически, а согласованность изменчивости мощности рудных тел и содержаний полезных компонентов в них — через коэффициент корреляции.

ГРУППИРОВКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАЗВЕДКИ

По совокупности всех рассмотренных факторов, определяющих методику разведки и необходимую плотность разведочной сети, месторождения цветных металлов, как и других видов полезных ископаемых, в соответствии с Классификацией ГКЗ СССР подразделяются на четыре группы [8—10]. Принадлежность месторождения (участка) к той или иной группе устанавливается исходя из степени сложности геологического строения основных рудных тел, заключающих не менее 70 % общих запасов месторождения.

1-я группа. Месторождения (участки) простого геологического строения, преобладающая часть запасов которых содержится в телах полезного ископаемого с ненарушенным или слабо нарушенным залеганием, выдержанными мощностью, внутренним строением и качеством полезного ископаемого, с равномерным распределением в них основных ценных компонентов, что позво-

ляет выявлять в процессе детальной разведки запасы категорий А и В.

Из месторождений цветных металлов к 1-й группе относятся месторождения (участки) простого строения с рудными телами, представленными как крупными пластообразными залежами и плитообразными телами простой формы, подчиняющимися стратиграфическому и литологическому контролю, с выдержанной мощностью и относительно равномерным распределением оруденения, так и крупными штокверками простой формы с относительно равномерным распределением металла.

В эту группу могут быть включены наиболее выдержанные месторождения меди типа медистых песчаников и сланцев (Джезказганское) и медно-порфировые (Коунрадское), наиболее крупные месторождения свинца и цинка стратиформного типа (Миргалимсайское), плитообразные тела вкрапленных сульфидных медно-никелевых руд в интрузиве (залежи вкрапленных руд месторождений Талнахское, Октябрьское и Норильск I).

2-я группа. Месторождения (участки) сложного геологического строения, характеризующиеся изменчивыми мощностью и внутренним строением тел полезного ископаемого либо нарушенным их залеганием, невыдержанным качеством полезного ископаемого или неравномерным распределением основных ценных компонентов. На месторождениях этой группы выявление при детальной разведке запасов категории А нецелесообразно вследствие недостаточной эффективности и высокой стоимости геологоразведочных работ. Запасы месторождений (участков) этой группы разведываются по категориям В и C_1.

Применительно к месторождениям цветных металлов ко 2-й группе относятся месторождения (участки) сложного геологического строения с протяженными крупными и средними пластовыми, плито-, пласто-, линзо- и жилообразными телами неоднородного строения, нередко имеющими большую, но невыдержанную мощность с раздувами, пережимами и ответвлениями или неравномерное распределение оруденения, а также крупные и средние штокверки и штокообразные тела сложной формы, неоднородного строения с неравномерным распределением полезных компонентов.

К данной группе принадлежит большинство месторождений меди медно-порфирового типа (Кальмакырское, Бощекульское, Актогайское), многие месторождения меди типа медистых песчаников и сланцев (Удоканское, Джеландинская группа), медноколчеданные (Гайское, Орловское, Узельгинское, Приорское, Юбилейное), медные жильные (Чатыркульское), крупнейшие рудные тела Саякской группы месторождений скарнового типа.

Из месторождений свинца и цинка во 2-ю группу могут быть включены как пологопадающие пласто- и линзообразные залежи (отработанные залежи Риддер-Сокольного месторождения, а также Тишинское, Озерное, Жайремское, Горевское, Текелийское и другие месторождения), так и лентовидные залежи, жило-

образные тела относительно небольшой невыдержанной мощности с неравномерным распределением свинца и цинка (Белоусовское, Иртышское, Березовское месторождения, отработанные протяженные залежи Зыряновского месторождения).

Ко 2-й группе относятся также выдержанные залежи массивных сульфидных медно-никелевых руд Октябрьского и Талнахского месторождений, месторождения Ждановское, Заполярное и другие, большинство силикатных никелевых месторождений с крупными, средними и мелкими залежами пласто-, плаще-, линзообразной и клиновидной формы невыдержанной мощности с раздувами, пережимами, карманообразными скоплениями никеля и его неравномерным распределением (Буруктальское, Черемшанское, Липовское, месторождения Кимперсайского района).

3-я группа. Месторождения (участки) очень сложного геологического строения, характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения либо интенсивно нарушенным залеганием тел полезного ископаемого или невыдержанным качеством полезного ископаемого и весьма неравномерным распределением основных ценных компонентов. На месторождениях этой группы выявление при разведке запасов категорий А и В нецелесообразно вследствие высокой стоимости их разведки и низкой ее эффективности. Запасы месторождений (участков) этой группы разведываются в основном по категории C_1 и частично по категории C_2.

Из месторождений цветных металлов к 3-й группе относятся месторождения (участки) очень сложного геологического строения с рудными телами, представленными средними и небольшими по размерам линзо- и пластообразными залежами, протяженными жильными зонами и жилами с изменчивой мощностью и невыдержанным распределением оруденения, а также небольшими очень сложного строения столбо-, штокообразными телами, сложноветвящимися, линзоподобными метасоматическими залежами и жилами с весьма неравномерным распределением оруденения.

В качестве представителей месторождений данной группы могут быть указаны многие месторождения медноколчеданного типа (Красногвардейское, Тарньерское, Маканское, Джусинское, Акбастау и др.), медные скарновые (Вадимо-Александровское, невыдержанные тела Саякского месторождения) и жильные (Жайсанское).

Из месторождений свинца и цинка к этой группе принадлежат месторождения Греховское II, Садонское, Рубцовское, Ново-Золотушинское и другие, а также небольшие очень сложного строения трубообразные, линзовидные залежи с резко изменчивой мощностью и весьма неравномерным распределением свинца и цинка (Замбаракское, Гусляковское, Архонское, Сумсарское, Каниансурское, Кансайское, Турланское месторождения).

Из месторождений никеля и кобальта — это наиболее сложные жило- и линзообразные сульфидные медно-никелевые месторож-

дения (Восток, Спутник, тела «медистых» руд Октябрьского и Талнахского месторождений), а также месторождения силикатных никелевых руд, связанных с корой выветривания смешанного типа со средними и мелкими узколинзообразными клиновидными залежами весьма невыдержанной мощности (Рогожинское, Покровское, Синарское).

Этой группе соответствуют и месторождения кобальтовых руд, представленные мелкими телами неправильной линзо-, гнездо- и трубообразной формы с крайне неравномерным распределением кобальта (Дашкесанское).

4-я группа. Месторождения (участки) весьма сложного геологического строения. характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения либо интенсивно нарушенным залеганием тел полезного ископаемого, а также невыдержанным качеством и весьма неравномерным распределением основных компонентов, разведка которых требует проходки подземных горных выработок в больших объемах. Запасы месторождений (участков) этой группы разведываются по категориям C_1 и C_2. Дальнейшая разведка таких месторождений (участков) совмещается с их вскрытием и подготовкой к разработке.

Месторождения медных, свинцово-цинковых, сульфидных медноникелевых и силикатных никелевых руд 4-й группы, представленные мелкими жилами, залежами или телами с чрезвычайно сложным прерывистым гнездообразным распределением рудных скоплений, промышленного значения, как правило, не имеют. Из месторождений кобальта к этой группе относится Ховуаксинское, сформированное мелкими по размерам сложными жилообразными телами весьма невыдержанной мощности с многочисленными ответвлениями, раздувами и пережимами, со сложным характером выклинивания и весьма неравномерным распределением кобальта.

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ РАЗВЕДКИ

Методы разведки

Основными методами разведки месторождений цветных металлов, как и других видов полезных ископаемых, являются, по В. М. Крейтеру [16], создание системы разведочных разрезов, опробование руд и оценочное сопоставление.

Создание системы разведочных разрезов направлено на определение размеров, формы, внутреннего строения и условий залегания рудных тел и отображение их на соответствующих разрезах и планах, являющихся графической основой установления количества и условий залегания полезного ископаемого (руды). Различаются следующие разновидности метода разведочных разрезов, учитывающие пространственную ориентировку последних: 1) вертикальных разрезов; 2) горизонтальных разрезов; 3) комбинированный, горизонтальных и вертикальных разрезов.

Опробование как разведочный метод направлено на выявление качества полезного ископаемого. Оценочное сопоставление сопутствует разведочному процессу непрерывно; его конечная цель — определение народнохозяйственной целесообразности эксплуатации разведываемого объекта путем сравнения основных показателей его промышленного освоения с аналогичными показателями других объектов.

Системы разведки

Под системой разведки месторождений понимается такое пространственное расположение и сочетание горно-разведочных выработок и буровых скважин, которое позволяет создать совокупность разведочных разрезов, отражающих форму, размеры и внутреннее строение рудных тел и особенности распределения в них полезных компонентов.

В зависимости от типа применяемых разведочных средств различают три группы систем разведки: горную, горно-буровую и буровую. Горная и горно-буровая системы разведки в общем случае дают возможность создать совокупность как вертикальных и горизонтальных разрезов, так и их комбинацию, буровые же системы разведки позволяют создать только совокупность вертикальных разрезов. Разведка месторождений цветных металлов с помощью одних лишь горных систем практически не ведется, горно-буровые системы являются наиболее характерными для месторождений 3-й группы, реже применяются на месторождениях 2-й группы, буровые системы используются преимущественно на месторождениях 1-й группы.

При разведке месторождений 1-й группы также требуется проходка некоторых объемов горноразведочных выработок для заверки данных разведочного бурения, отбора технологических проб, изучения зоны окисления и с другими целями.

В то же время разведка месторождений 2-й, а иногда и 3-й группы при благоприятных условиях может осуществляться только буровыми скважинами при условиях надежной увязки рудных тел и выяснения их морфологии с помощью геофизических методов, но это, как правило, требует большей плотности разведочной сети и проходки дополнительных заверочных детализационных скважин.

Система разведочных работ выбирается исходя из природных геологических особенностей разведываемых месторождений. Соотношение объемов горных работ и бурения, виды горных выработок и способы бурения, геометрия и плотность разведочной сети определяются с учетом возможностей горных, буровых и геофизических средств разведки, опыта разведки и разработки месторождений аналогичного типа. Принятая система разведки должна обеспечивать возможность подсчета запасов промышленных категорий в соотношении, установленном Классификацией запасов для месторождений различных групп по сложности разведки.

При выборе оптимального варианта разведки следует учитывать также сравнительные технико-экономические показатели и сроки выполнения работ по различным вариантам разведки.

СТАДИЙНОСТЬ РАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА

Теоретической основой разделения геологоразведочного процесса на стадии является принцип последовательных приближений, отражающий объективную закономерность познания природы человеком. От ранних стадий геологоразведочных работ к последующим возрастает детальность исследований, увеличивается объем получаемой информации об изучаемом объекте и соответственно повышается степень достоверности представлений о нем. Результаты работ каждой стадии служат основанием для перехода к последующей.

Выделяются четыре стадии разведочного процесса: 1) предварительная разведка; 2) детальная разведка; 3) доразведка месторождения; 4) эксплуатационная разведка.

Основная задача **предварительной разведки** — выяснение геологической структуры, формы и условий залегания основных рудных тел, качества и технологических свойств руд, а также количества запасов руды и металлов по месторождению в целом, горнотехнических условий его разработки и географо-экономических условий района для предварительной геолого-экономической оценки месторождения.

Основной результат работ стадии предварительной разведки — предварительная, но достаточно надежная оценка разведываемого месторождения. По результатам предварительной разведки составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованный вывод о промышленном значении месторождения.

Для подсчета балансовых запасов полезных компонентов составляются временные кондиции, утверждаемые в установленном порядке Минцветметом СССР. Запасы руды и металлов должны быть подсчитаны по категориям C_2 и C_1 в пределах всего объекта разведки.

Положительная оценка месторождения на стадии предварительной разведки не предполагает немедленного проведения детальной его разведки. Месторождение после предварительной разведки может быть отнесено к числу резервных.

Сложные месторождения с богатыми рудами, на которых нецелесообразны затраты на детальную разведку с подсчетом запасов по высоким категориям, могут передаваться для промышленного освоения с запасами, утвержденными ГКЗ СССР по категориям C_1+C_2.

Особенности предварительной разведки различных месторождений твердых полезных ископаемых зависят прежде всего от их размеров, морфологических свойств и условий залегания.

Детальная разведка осуществляется на месторождениях, по-

лучивших положительную оценку по данным предварительной разведки и намечаемых к промышленному освоению в ближайшие годы.

В результате проведения детальной разведки на месторождении должны быть выявлены запасы руды и металлов, обеспечивающие деятельность горнодобывающего предприятия в течение нормативного срока (для крупных предприятий цветной металлургии по меди, свинцу, цинку и никелю он составляет 30—40 лет).

Запасы, выявляемые в результате детальной разведки, подсчитываются в соответствии с постоянными кондициями, разрабатываемыми на основе составленного для этого объекта ТЭО и утвержденными в ГКЗ СССР в установленном порядке.

Материалы, полученные в результате детальной разведки, служат основанием для представления подсчета запасов по месторождению или его части на утверждение ГКЗ СССР и для составления проекта разработки месторождения. Проекты разработки весьма сложных месторождений, на которых экономически нецелесообразно проведение детальных работ до начала эксплуатации, могут составляться, в виде исключения, по данным подсчета запасов по категориям $C_1 + C_2$.

Детальную разведку месторождений, расположенных вблизи действующих предприятий по добыче полезных ископаемых, целесообразно совмещать со вскрытием и подготовкой месторождения к разработке по проектам, согласованным с Минцветметом СССР.

Доразведка месторождений может выполняться как на ранее детально разведанных месторождениях, но не освоенных промышленностью, так и на разрабатываемых. Назначением работ в первом случае является получение дополнительных данных, необходимых для подготовки месторождения к промышленному освоению, во втором — последовательное изучение недостаточно изученных частей месторождения и разведка прирезаемых площадей (участков) с целью восполнения отработанных запасов полезного ископаемого или расширения сырьевой базы действующего предприятия.

Эксплуатационная разведка начинается при подготовке месторождения к отработке с началом проходки капитальных горно-подготовительных и нарезных выработок и сопровождает разработку месторождения до ее окончания.

Объектами эксплуатационной разведки служат участки, подготавливаемые к отработке, а также отрабатываемые уступы карьера и эксплуатационные блоки.

Основная задача этой стадии разведки заключается в предельно возможном уточнении контуров рудных тел, качества руд, а также горнотехнических условий их отработки.

От стадии к стадии разведочного процесса с изменением детальности работ меняется и объект исследования. В стадию предварительной разведки изучается месторождение в целом; детальная разведка и доразведка касаются лишь частей месторождения,

выделенных при предварительной разведке; объекты эксплуатационной разведки — небольшие участки месторождения, подготавливаемые для выемки полезного ископаемого (эксплуатационный блок, уступ карьера).

Стадийность работ должна, как правило, соблюдаться. Работы различных стадий могут выполняться без перерыва или со значительным перерывом. В отдельных случаях в зависимости от конкретных условий, и прежде всего от размеров, сложности и предполагаемой ценности месторождения, некоторые стадии могут отсутствовать в общей схеме геологоразведочного процесса или объединяться друг с другом.

МЕТОДИКА РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Месторождения меди

По природным геологическим особенностям и сложности разведки промышленные месторождения меди в соответствии с Классификацией ГКЗ СССР разделяются на три группы (пять подгрупп).

Для разведки месторождений каждой из выделенных подгрупп требуются особые методические подходы, виды разведочных средств и их соотношения, плотность разведочной сети (табл. 35, 36). Они отличаются также по способам опробования и оконтуривания рудных тел, подсчета их запасов и оценки.

1-я группа месторождений меди по сложности разведки состоит из двух подгрупп.

Таблица 35

Плотность сетей разведочных выработок, применявшихся при разведке месторождений медных руд СССР

Классификация месторождений по сложности разведки		Виды выработок	Расстояние между пересечениями рудных тел выработками (в м)* для категорий запасов		
Группа	Подгруппа		А	В	C_1
1-я	1-я	Скважины	75/75	150/150	300/300
1-я	2-я	»	75/75	100/100	100/150
2-я	1-я	Скважины, горные выработки	—	50/75	100/150
2-я	2-я	То же	—	50/100	100/200
3-я	—	»	—	—	50/(50—75)

* В числителе указаны расстояния по простиранию, в знаменателе — по падению.

Примечание. Обобщить данные о влиянии методов скважинной геофизики на выбор плотности разведочной сети пока не представляется возможным.

Таблица 36

Фактическая плотность сетей разведочных выработок, применявшаяся на некоторых месторождениях медных руд. По И. Д. Когану [13] с дополнениями авторов

Месторождение	Группа месторождений по сложности разведки	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м)* для категорий запасов		
		A	B	C_1
Пластовые и пластообразные залежи				
Джезказганское	1-я	75/75	150/150	300/300
Удоканское	2-я	—	(50—200)/(50—150) **	до 500/—
Итаузское	2-я	—	100/100	200/200
Сарыобинское	2-я	—	100/100	200/200
Штокверковые тела				
Коунрадское	1-я	24/24	—	—
Актогайское	2-я	—	100/100	200/100
Бощекульское	2-я	50/25	100/50	200/100
Волковское	2-я	—	(40—50)/(50—100)	(75—100)/(100—200)
Кальмакырское (первичные руды)	2-я	—	100/100	200/200
Коксайское	2-я	—	100/100	200/100
Каратас IV	3-я	—	—	(35—40)/(50—60)
Сложные линзо- и жилообразные тела				
Гайское	2-я	—	50/50	100/(50—100)
Им. XIX Партсъезда	2-я	—	50/50	100/50
Кизил-Дере	2-я	—	50/50 **	(80—150)/(80—150)
Комсомольское	2-я	—	—	100/(60—120)
Маднеульское	2-я	—	50/50	100/(100—150)
Молодежное	2-я	—	50/(25—50)	50/(50—100)
Николаевское	2-я	—	50/50	100/100
Орловское	2-я	—	50/50	100/50
50 лет Октября	2-я	—	50/45	100/80
Саянское	2-я	—	(25—50)/(25—50) **	100/100
Урупское	2-я	—	50/50 **	100/100
Учалинское	2-я	—	60/60	100/100
Чатыркульское	2-я	—	50/50 **	100/100
Юбилейное	2-я	—	50/50	100/50
Вадимо-Александровское	3-я	—	—	50/(50—80) **
Озерное (Урал)	3-я	—	—	(25—45)/(17—58)

* В числителе указаны расстояния по простиранию, в знаменателе — по падению.
** Разведка производилась преимущественно горными выработками.

К 1-й подгруппе относятся наиболее простые месторождения типа медистых песчаников и сланцев (Джезказган в СССР, Предсудетская моноклиналь в ПНР, некоторые месторождения Замбии), представленные крупными пластообразными

залежами, плитообразными телами или сериями близпараллельных многоярусных залежей простой формы, отличающимися спокойным залеганием, большой выдержанностью по простиранию и падению при незначительных колебаниях мощности и относительно равномерном распределении меди. Изучение и прослеживание выходов пологозалегающих пластовых тел 1-й подгруппы 1-й группы производятся канавами или шурфами, пересекающими всю мощность меденосного горизонта через 200—300 м по их простиранию.

Разведка рудных тел этой подгруппы на глубину на стадии предварительной разведки осуществляется буровыми скважинами. Первоначальная, наиболее редкая сеть разведочных скважин (400—600) × (400—600) м (для крайне выдержанных месторождений медистых сланцев типа Мансфельда в ГДР или Предсудетской моноклинали в ПНР достаточна и значительно более редкая сеть буровых скважин) охватывает все месторождение в его естественных или некоторых условных границах, в результате чего определяются запасы всего месторождения (условной его части) по категории C_2. По результатам первого периода предварительной разведки приблизительно очерчиваются границы месторождения и выбирается представительная и наиболее доступная его часть для дополнительного изучения с целью подсчета запасов меди по категории C_1, для чего производится сгущение первоначальной разведочной сети до (200—300) × (200—300) м.

Число разведочных пересечений, необходимых и достаточных для решения задач предварительной разведки пластовых месторождений первой группы, и соответственная густота разведочной сети устанавливаются с учетом конкретных геологических особенностей разведываемого объекта с таким расчетом, чтобы каждое крупное рудное тело было пересечено не менее чем тремя-четырьмя разведочными разрезами по три-четыре рудные скважины в каждом разрезе.

Детальной разведке крупные пластообразные залежи первой группы сложности обычно подвергаются в той части, которая наиболее доступна и выгодна для первоочередной разработки месторождения. Размеры площади участка для детальной разведки определяются в зависимости от производительности предполагаемого горнорудного предприятия, имея в виду обеспечение его разведанными запасами на установленный нормативный срок.

Объектами детальных разведочных работ являются отдельные крупные пласты и меденосные горизонты или их условные части.

Развитие разведочной системы в стадию детальной разведки заключается в основном в сгущении сети буровых скважин по вертикальным разрезам: для категорий А и В соответственно до (50—100) × (50—100) и (100—150) × (100—150) м.

В итоге детальной разведки крупных пластообразных месторождений 1-й группы сложности запасы руды переводятся из категории C_1 (иногда C_2) в категории А и В в количестве, предусмотренном Классификацией ГКЗ СССР для месторождений,

передаваемых в промышленное освоение. Одновременно могут быть приращены запасы категории C_1 за счет их перевода из категории C_2.

Доразведка пластообразных месторождений 1-й группы ввиду их значительных размеров осуществляется на больших площадях. Объектами доразведки служат отдельные меденосные пласты, пластообразные залежи или условно выделенные шахтные и карьерные поля.

Детальное изучение разведочного участка с целью подсчета запасов категорий А и В для последующей подготовки к отработке выполняется по принятой разведочной системе; плотность разведочной сети устанавливается с учетом результатов сравнения данных детальной разведки с данными отработки на эксплуатационном участке первой очереди.

Ко 2-й подгруппе 1-й группы относятся некоторые месторождения медно-порфирового типа (Коунрадское), представленные крупными штокверками простой формы с относительно равномерным распределением меди и высокой сплошностью оруденения (с коэффициентом рудоносности близким к единице). Методика их разведки от таковой штокверковых медно-порфировых месторождений второй группы отличается только несколько меньшей плотностью разведочной сети. Причем требования к разведке (и плотности разведочной сети) для верхней части месторождений (зоны окисления и вторичного сульфидного обогащения) этой группы те же, что и для месторождений 2-й группы.

2-я группа месторождений меди по сложности разведки весьма многочисленна и разнородна. В нее входит большинство промышленно важных месторождений, заключающих основную часть запасов этого металла. Как и 1-я группа, она условно разделяется на две подгруппы: 1-ю, к которой относятся крупные и средние пласто-, линзо- и жилообразные тела, и 2-ю, представленную крупными и средними по размерам штокверками и штокообразными телами сложной формы.

Пластовые и пластообразные месторождения 2-й группы, объединяющие дислоцированные залежи (иногда залежи сложного внутреннего строения) типа медистых песчаников и сланцев и самородной меди (Удоканское, Джеландинская группа, из зарубежных — Айнак в Афганистане, многие месторождения Замбии, Заира, США), отличаются преимущественно наклонным или крутым залеганием рудных тел, иногда (месторождения Замбии, Заира) наличием складок высоких порядков и разрывных нарушений, разобщающих крупные рудные тела на несколько самостоятельных блоков. В ряде случаев на многоярусных месторождениях медистых песчаников два или несколько сближенных (по мощности) самостоятельных меденосных горизонтов сливаются друг с другом и при разведке объединяются в единую сложного строения пластообразную залежь. Эти месторождения разведываются принципиально так же, как и место-

рождения 1-й группы, но для оконтуривания и прослеживания рудных тел необходима бóльшая плотность разведочной сети: для категорий C_2 и C_1 соответственно (300—400) × (300—400) и (100—150) × (100—150) м.

В условиях сложного, труднодоступного, резко расчлененного горного рельефа, как, например, на Удоканском месторождении, предпочтительной может оказаться разведка штольнями с системой рассечек и горизонтальных буровых скважин. В Джезказганском районе для разведки так называемых «ленточных» залежей предположительно приуроченных к древним руслам палеорек, ширина которых иногда составляет всего 50—100 м при большой протяженности по простиранию, требуется сгущение расстояний между разведочными скважинами в поперечных разрезах с расчетом пересечения этих залежей не менее чем тремя-четырьмя скважинами в каждом разрезе.

Детальная разведка дислоцированных пластообразных залежей 2-й группы осуществляется по той же методике, что и 1-й группы, однако для изучения требуется разведочная сеть буровых скважин большей плотности — для категории В в среднем (50—100) × (50—100) м, — особенно при разведке «ленточных» залежей небольшой ширины. В условиях резко расчлененного горного рельефа местности иногда более эффективно применение подземных горных выработок — штолен со штреками и рассечками в комбинации с вертикальными, горизонтальными и наклонными скважинами подземного бурения. Месторождения 2-й группы разведываются с меньшей долей запасов высоких категорий (запасов категории В достаточно 20 % от суммы запасов категорий $B+C_1$, а запасы категории А не требуются).

Доразведка пластообразных месторождений 2-й группы с целью дополнительного изучения известных и новых рудных тел и перевода их запасов в более высокие категории осуществляется по той же методике, что и на участках детальной разведки первой очереди, с учетом опыта эксплуатации.

Крупные и средние линзо- и жилообразные тела сложного внутреннего строения 2-й группы представлены в основном месторождениями медноколчеданного, в меньшей мере — скарнового и жильного типов, разнообразными по геолого-структурным особенностям и морфологии рудных тел. Среди последних различаются согласные, секущие, пологозалегающие и крутопадающие штокообразной («сундучной»), линзообразной с разным соотношением мощности и длины — от 1 : 2 до 1 : (30÷50) — и жилообразной формы. Это обусловливает наличие множества методических подходов к разведке и оценке конкретных рудных тел. Общее для всех этих месторождений — достаточно определенный геологический контроль локализации оруденения: зоны контактов различных по составу вулканогенно-осадочных толщ, четкие разрывные нарушения (секущие и межпластовые), зоны дробления и рассланцевания, трещинные структуры, экранирующие поверхности, контакты интрузивных и субвулканических тел

и др. Указанные структурные элементы контролируют положение главных, наиболее крупных рудных тел, наряду с которыми в пределах месторождений, как правило, присутствуют более мелкие и сложные по морфологии рудные тела, количественно преобладающие над главными, но заключающие обычно менее 20 % от общих запасов месторождений.

Большинство месторождений 1-й подгруппы 2-й группы на стадии предварительной разведки может быть разведано преимущественно буровыми скважинами, которые располагаются в вертикальных разрезах, бурятся вертикально или наклонно — в зависимости от условий залегания конкретных рудных тел. Как правило, разведочные работы должны охватывать главные рудные тела на всем их протяжении по простиранию и падению. Плотность разведочной сети и размещение буровых скважин определяются размерами и условиями залегания рудных тел. На стадии предварительной разведки, когда недостаточно изучена пространственная изменчивость содержаний меди и мощностей рудных тел, предпочтительными являются квадратные сети.

Для получения запасов категории C_1 расстояние между разведочными разрезами в подавляющем большинстве случаев не должно быть более 150 м, а между скважинами в разрезах 100—150 м. Для крутопадающих рудных тел значительной мощности бывает целесообразным бурение дополнительных наклонных разведочных скважин, обеспечивающих вскрытие рудных тел на полную мощность.

Для контроля данных бурения и уточнения структурных особенностей месторождений в ряде случаев необходимо проходить подземные горные выработки на одном горизонте, которые используются также для отбора технологических проб.

На подобных месторождениях большое значение имеют исследования методами скважинной и шахтной геофизики, применяющиеся для подтверждения правильности увязки рудных пересечений, сплошности рудных тел и их оконтуривания (методы радиопросвечивания, заряда, электрокорреляции), иногда для обоснования возможности разрежения разведочной сети буровых скважин.

Второстепенные мелкие рудные тела, сопровождающие главные, в стадию предварительной разведки изучать нецелесообразно, так как они не оказывают существенного влияния на оценку промышленного значения месторождений.

В результате предварительной разведки месторождений с линзо- и жилообразными рудными телами должны быть подсчитаны их общие запасы по категориям C_1 и C_2, причем количество запасов категории C_1 должно быть достаточным для обоснования строительства рентабельного предприятия минимальной производительности.

Наряду с разведкой на глубину детализируется строение месторождения на поверхности, дополнительно вскрываются и прослеживаются выходы рудных тел горными выработками,

мелкими буровыми скважинами геофизическими средствами. Геологические карты масштаба 1 : 5000—1 : 2000 составляют на инструментальной основе.

При детальной разведке месторождения с линзо- и жилообразными рудными телами в первую очередь изучаются в основном наиболее крупные тела с таким расчетом, чтобы сумма и соотношение разведанных запасов промышленных категорий ($B+C_1$) были достаточными для обеспечения работы будущего горнорудного предприятия на нормативный срок.

Рудные тела разведываются до категории B преимущественно буровыми скважинами по достаточно густой разведочной сети — в среднем (50—75) × (50—75) м — при условии надежной заверки данных бурения с помощью подземных горных выработок и геофизических средств. Горноразведочные выработки при детальной разведке рудных тел следует выбирать таких сечений и проводить по таким направлениям, какие позволили бы максимально использовать их при последующей эксплуатации месторождения. Для уменьшения объема горнопроходческих работ при детальной разведке необходимо применять подземное бурение скважин, заменяющих орты и позволяющих уточнить направление разведочных выработок.

Доразведка линзо- и жилообразных тел 2-й группы, недостаточно изученных в период, предшествующий эксплуатации месторождения, осуществляется в последовательности, установленной проектом разработки месторождения. Кроме того, рудные тела, выявленные в период эксплуатации месторождения в пределах горного отвода, также исследуются в порядке доразведки. Главными средствами доразведки рудных тел являются буровые скважины и горноразведочные выработки. Применение буровых скважин в значительных объемах целесообразно для прослеживания рудных тел по простиранию и падению перед заложением подземных горных выработок на нижних горизонтах и смежных участках. На этой стадии разведочных работ изучаются и второстепенные рудные тела, сопровождающие главные. Они разведуются в основном подземными горными выработками в комплексе со скважинами подземного бурения и геофизическими исследованиями.

Штокверковым месторождениям второй подгруппы 2-й группы свойственны крупные и средние размеры в плане, значительная глубина распространения прожилково-вкрапленной медной минерализации, обычно в той или иной мере прерывистый характер оруденения, отсутствие четких геологических границ; контуры рудных тел определяются только по данным опробования.

К этой подгруппе относится большинство медно-порфировых месторождений СССР (Кальмакырское, Бощекульское, Актогайское), НРБ, МНР, СФРЮ, США, Чили, Перу, Мексики и других стран, а также некоторые железо-медные в габброидах (Волковское в СССР) и карбонатитовые месторождения (Палабора в ЮАР).

Предварительная разведка месторождений этого типа осуществляется преимущественно вертикальными разрезами скважинами колонкового бурения по редкой сети: для категории C_2 — (300—400) × (300—400) м (для сильно вытянутых штокверков — 600×200 м) и для категории C_1 — (150—200) × (150—200) м; причем верхняя часть месторождений до глубины 300—400 м разведывается полностью по категории C_1, нижняя — по категории C_2, для чего часть разведочных скважин бурится до глубины технически возможной отработки открытым способом (600—700 м). Для штокверков, выходящих на поверхность, в стадию предварительной разведки детализируется строение у поверхности, уточняется общий контур распространения оруденения, проходится небольшой объем горных выработок или буровых скважин большого диаметра для отбора технологических проб различных природных типов руд (окисленных, смешанных, сульфидных зон вторичного обогащения и первичных). Для проверки наличия (или отсутствия) избирательного истирания керна часть скважин колонкового бурения следует продублировать скважинами ударно-канатного бурения или глубокими шурфами; необходимо также опробировать шлам и муть. Запасы штокверковых месторождений, учитывая их прерывистость, часто подсчитываются с помощью коэффициентов рудоносности.

При детальной разведке изучаются обычно верхние части штокверковых месторождений меди 2-й группы, являющиеся объектами первоочередной отработки. На открытых разработках карьеры первой очереди достигают глубины 300 м от поверхности. При подземных системах разработки месторождений руды целесообразно добывать на одном-двух этажах одновременно. До таких глубин и должна проводиться детальная разведка перед началом отработки месторождения.

Штокверковые месторождения меди и на этой стадии разведываются преимущественно буровыми скважинами по системе вертикальных разрезов. Приповерхностные части штокверков с развитой неглубокой зоной выщелачивания, зонами окисления и вторичного сульфидного обогащения, отличающиеся многообразием природных сортов руд (по степени окисления и минеральному составу) и чередованием промышленных блоков с непромышленными, целесообразно разведывать буровыми скважинами в сочетании с глубокими шурфами или штольнями (при благоприятном рельефе поверхности). При этом для изучения внутреннего строения зоны окисления, характера ее верхней и нижней границ, а также неглубоко залегающей зоны вторичного сульфидного обогащения сложной морфологии требуется значительно бóльшая плотность разведочной сети (для категорий В и C_1 соответственно в среднем 50×50 и 100×100 м), чем для зоны первичных руд и мощной выдержанной зоны вторичного сульфидного обогащения; в последних случаях принимаются следующие параметры разведочной сети: для категории В (50—100) × (50—100) м и категории C_1 (100—200) × (100—200) м.

В результате детальной разведки месторождений этой подгруппы в их верхних частях (до глубины 150—200 м), предназначенных для первоочередной отработки, должны быть подсчитаны запасы по категории В в количестве, необходимом для составления проекта разработки (не менее 20 % от суммы запасов категорий $B+C_1$). На объектах с извилистыми внешними контурами запасы руд в приконтурной полосе могут быть квалифицированы по категории C_1 при возможности достаточно точного установления границ эксплуатационного карьера.

Доразведка штокверковых месторождений в глубинных частях обычно осуществляется после отработки их верхних частей карьером или подземным способом на нескольких верхних горизонтах. На этой стадии сгущается сеть разведочных пересечений ниже горизонта первоочередной отработки месторождения (отметки дна карьера первой очереди или нижнего откаточного горизонта). Целесообразная плотность разведочной сети устанавливается на основании опыта детальной разведки и эксплуатации на участке освоения первой очереди.

3-я группа месторождений меди также весьма многочисленная, но в запасах и добыче металла значение ее невелико. Она объединяет мелкие по размерам медноколчеданные месторождения, характеризующиеся разнообразной и, как правило, причудливой морфологией рудных тел, их сложным внутренним строением (месторождения Ивдельской, Красноуральской, Кировоградской и Верхнеуральской групп), а также мелкие месторождения жильного (Кафанское) и скарнового (Турьинская группа) типов. Большинству месторождений свойственны достаточно высокие содержания меди и ценных сопутствующих компонентов, их неравномерное и весьма неравномерное распределение.

Отличительной чертой этих месторождений является отсутствие четких структурных или литологических элементов, контролирующих локализацию отдельных рудных тел и их морфологию. Геофизические работы во многих случаях также не дают однозначных данных для увязки рудных тел и их оконтуривания. Тем не менее и на этих месторождениях часто удается выделить три-четыре наиболее крупных рудных тела, определяющих основную промышленную ценность месторождения. Нередко эти рудные тела расположены в пределах единых стратиграфических уровней или линейных зон на небольшом расстоянии друг от друга и соединяются между собой второстепенными рудными ветвями или проводниками различной мощности. Увязка рудных пересечений в последнем случае сопряжена со значительными трудностями.

Буровые работы на месторождениях 3-й группы при любой практически возможной плотности разведочной сети не могут обеспечить получение запасов категории выше, чем C_1. При этом данные буровых работ подлежат обязательной заверке подземными горными выработками на одном-двух горизонтах, а сплошность оруденения по простиранию и падению рудных тел — прослеживающими горными выработками (штреками, ортами, восста-

ющими). При наличии одного-двух горизонтов подземных горных выработок запасы категории C_1 наиболее крупных рудных тел могут быть получены с помощью буровых скважин по сети со средними параметрами (50—75) × (50—75) м, а более мелких — только по данным подземных горных выработок не менее чем на двух горизонтах, расстояние между которыми не превышает высоты эксплуатационного этажа (40—60 м), а расстояние между ортами — не более 25 м. В створе с ортами бурят веера подземных скважин и проходят восстающие. Разведочные штреки по возможности следует проходить по руде для подтверждения сплошности оруденения по простиранию.

Глубокие горизонты месторождений (ниже горных выработок) могут быть частично разведаны по категории C_1 — при плотности сети буровых скважин (25—50) × (25—50) м — и категории C_2 — по более редкой сети.

Детальная разведка месторождений 3-й группы в большинстве случаев должна совмещаться с их эксплуатацией. Для проектирования отработки некоторых месторождений необходима предварительная проходка разведочно-эксплуатационных шахт (РЭШ).

При доразведке месторождений наряду с проходкой подземных горных выработок бурится значительное число разноориентированных подземных скважин для выяснения морфологии рудных тел и их оконтуривания. Для этих же целей используются средства рудной геофизики (радиоволновое просвечивание, метод заряда, микрогравиметрия и др.). Бóльшая часть разведочных горных выработок на рассматриваемых месторождениях должна быть пригодна для подготовки к отработке соответствующих частей рудных тел.

Месторождения свинца и цинка

По природным геологическим особенностям и сложности разведки в соответствии с Классификацией ГКЗ СССР промышленные месторождения свинца и цинка разделяются на три группы (четыре подгруппы). Обобщенные сведения о плотности разведочных сетей на месторождениях свинца и цинка различных групп приведены в табл. 37. Они могут учитываться при проектировании геологоразведочных работ, но для каждого месторождения должны обосновываться отдельно на основании изучения участков детализации и анализа всех имеющихся конкретных геологических, геофизических и эксплуатационных материалов по разведываемому и аналогичным ему месторождениям. Фактические плотности разведочных сетей для отдельных месторождений значительно отличаются от средних (табл. 38).

1-я группа месторождений свинца и цинка объединяет крупные пластообразные залежи простой формы, имеющие большое площадное распространение, выдержанную мощность и относительно равномерное распределение полезных компонентов. Представителями этой группы являются наиболее простые место-

Таблица 37

Плотность сетей, применявшихся при разведке свинцово-цинковых месторождений СССР

Классификация месторождений по сложности разведки		Виды выработок	Расстояние между пересечениями рудных тел выработками (в м)* для категорий запасов		
Группа	Подгруппа		A	B	C_1
1-я	—	Скважины, горные выработки	(40—50)/(40—50)	—	—
		Скважины	—	(80—100)/(80—100)	(160—200)/(160—200)
2-я	1-я	Горные выработки, скважины	—	(50—75)/(50—75)	(100—150)/(100—150)
2-я	2-я	Штреки, штольни	—	Непрерывно/(50—60)	—
		Орты, рассечки		(20—30)/—	—
		Восстающие	—	(80—120)/—	—
		Скважины	—	(40—50)/(30—40) **	(75—100) ***/(50—75)
3-я	—	Штреки, штольни	—	—	Непрерывно/(40—60)
		Орты, рассечки	—	—	(20—30)/—
		Восстающие	—	—	(80—120)/—
		Скважины	—	—	(50—60)/(30—40)

* В числителе указаны расстояния по простиранию, в знаменателе — по падению.

** Для отдельных выдержанных рудных тел оценка запасов по категории B возможна по скважинам при условии детальной заверки бурения горными выработками.

*** До 200 м для лентовидных залежей.

Примечание. Обобщить данные о влиянии методов скважинной геофизики на выбор плотности разведочной сети пока не представляется возможным.

Таблица 38

Фактическая плотность сетей разведочных выработок, применявшихся на некоторых месторождениях свинца и цинка. По И. Д. Когану [13] с дополнениями авторов

Месторождение	Группа месторождений по сложности разведки	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м)* для категорий запасов		
		A	B	C_1
Пластовые и пластообразные залежи выдержанной мощности				
Миргалимсайское	1-я	(40—50)/(40—50) **	80/80	160/160
Джезказганское	1-я	75/75	150/150	300/300
Мощные пласто- и линзообразные залежи				
Алайгырское	2-я	—	50/(30—70)	100/(70—100)
Бестюбинское	2-я	—	50/50	100/(50—80)
Горевское	2-я	—	50/(50—75)	100/100
Жайремское	2-я	—	(30—50)/50	(100—150)/(70—100)
Зыряновское	2-я	—	(50—60)/(50—60)	(80—120)/(80—100)
Карагайлинское	2-я	—	50/50	100/100
Кужальское	2-я	—	50/50 **	50/50
Кызыл-Таштыгское	2-я	—	50/50	100/100
Ново-Широкинское	2-я	—	50/50	100/100
Озерное (Бурятия)	2-я	—	100/(30—70)	100/(70—140)
Текелийское	2-я	(6—24)/(6—24) **	60/60	120/120
Тишинское	2-я	—	50/50	100/100
Узунжальское	2-я	—	100/50	200/100
Филизчайское	2-я	—	50/50	100/100
Шалкиинское	2-я	—	40/80	80/160

* В числителе указаны расстояния по простиранию, в знаменателе — по падению.

** Разведка производилась преимущественно горными выработками.

Продолжение табл. 38

Месторождение	Группа месторождений по сложности разведки	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м)* для категорий запасов		
		A	B	C_1
Протяженные оруденелые зоны относительно небольшой мощности				
Белоусовское	2-я	—	60/(15—60)	200/(25—50)
Березовское	2-я	—	40/(30—45) **	150/75
Иртышское	2-я	—	50/50	100/100
Сложные инзо- и жилообразные тела				
Алтын-Топканское	2-я	—	60 **/30	100/120
Золотушинское	2-я	—	50/50	100/50
Кварцитовая Сопка	2-я	—	40/(20—50) **	(30—50)/(25—80)
Николаевское (Дальний Восток)	2-я	—	—	(80—100)/(30—200)
Савинское № 5	2-я	—	50/50	100/100
Садонское	2-я	—	(20—40)/(30—60) **	—
Учкулачское	2-я	—	30/40	80/80
Акжальское	3-я	—	50/50 **	60/60
Ачисайское	3-я *	—	50/50 **	(30—50)/(30—50)
Замбаракское	3-я	—	—	80/(40—80) **
Кадаинское	3-я	—	—	30/40
Ново-Березовское	3-я	—	—	(50—100)/(50—100)
Сумсарское	3-я	—	—	50/(60—80)
Туюкское	3-я	—	40/30 **	80/40
Юбилейно-Снегирихинское	3-я	—	—	50/50

* В числителе указаны расстояния по простиранию, в знаменателе — по падению.

** Разведка производилась преимущественно горными выработками.

рождения стратиформного типа, залегающие в карбонатных породах (Миргалимсайское), а также свинец- и цинксодержащие месторождения медистых песчаников и сланцев (Джезказганское).

На стадии предварительной разведки первоначально по редкой сети буровых скважин — (400—600) × (400—600) м — приблизительно очерчиваются общие границы месторождения и выбирается представительная и наиболее доступная его часть для дополнительного изучения. С целью подсчетов запасов руды и металлов по категории C_1 первоначальная сеть сгущается до (150—300) × (150—300) м. Ориентировка разведочной сети принимается согласной с простиранием и падением рудных тел; форма ее обычно квадратная. Целесообразные расстояния между разведочными пересечениями определяются с учетом конкретной геологической обстановки и размеров наиболее крупных рудных тел.

В стадию детальной разведки на участке месторождения, предназначенном для первоочередной отработки, разведочная сеть сгущается до размеров, обеспечивающих необходимое соотношение запасов промышленных категорий. Первоначальные ориентировка и форма разведочной сети сохраняются, но иногда с целью заверки сплошности оруденения внутри разведочных блоков бурятся промежуточные и «пакетные» (в центре квадратов разведочной сети) скважины.

В случае, когда пластообразная рудная залежь разбита крупными разрывными нарушениями на несколько блоков, как, например, на Миргалимсайском месторождении, в процессе детальной разведки каждый из таких блоков рассматривается в качестве самостоятельного объекта изучения.

Для заверки данных буровых работ и получения других сведений, необходимых для проектирования горнорудного предприятия, в процессе детальной разведки осуществляется проходка ограниченного объема подземных горных выработок.

Доразведка пластообразных месторождений свинца и цинка в методическом отношении аналогична таковой пластообразных месторождений меди.

2-я группа месторождений свинца и цинка по сложности разведки самая многочисленная: к ней принадлежит большинство промышленно важных месторождений этих металлов; данная группа в соответствии с инструкцией ГКЗ СССР [9] разделяется на две подгруппы: 1-ю, объединяющую крупные и средние по размерам пласто, линзо- и жилообразные тела неоднородного внутреннего строения, залегающие в карбонатных (Горевское, Шалкиинское, Учкулачское), терригенно-карбонатных (Жайремское, Бестюбинское), терригенных (Филизчайское, Холоднинское) и вулканогенно-осадочных (Зыряновское, Тишинское, Озерное и др.) толщах, и 2-ю, представленную протяженными лентовидными залежами и жилообразными телами относительно небольшой мощности, вмещающими для которых являются вулканогенно-осадочные породы (Белоусовское, Иртышское, Березовское).

Среди представителей первой подгруппы по величине мощности рудных тел, их морфологии и условиям ведения разведочных работ различают относительно выдержанные мощные пласто- и линзообразные залежи и более сложные, сравнительно менее выдержанные сложные линзо- и жилообразные тела. Распределение свинца и цинка в месторождениях обеих подгрупп неравномерное.

Мощные пласто- и линзообразные залежи на стадии предварительной разведки приближенно оконтуриваются, как правило, с помощью редкой сети скважин колонкового бурения, которые при пологом залегании рудных тел бурят вертикально, а при крутом — наклонно. Скважины располагаются в вертикальных разрезах, расстояние между которыми для получения запасов категории C_1 принимается 100—120 м (для удлиненных залежей — до 200 м), а между скважинами в разрезах 70—100 м (для наиболее выдержанных рудных тел — до 150 м). Из-за неоднородного внутреннего строения рудных залежей и самопроизвольного зенитного и азимутального искривлений стволов разведочных скважин выдержать геометрическую правильность разведочной сети обычно не удается. На стадии предварительной разведки приближенно оконтуриваются и разбуриваются только наиболее крупные рудные тела, второстепенные вскрываются и изучаются попутно.

При детальной разведке для получения запасов категории В сеть разведочных скважин обычно сгущается вдвое, иногда для выдержанных рудных тел (типа Озерного месторождения) для этой цели достаточно сгустить разведочные скважины только в разведочных разрезах. При этом существенное значение имеют скважинные геофизические исследования (электроразведочные методы), подтверждающие правильность увязки и оконтуривания рудных тел. В сложных случаях для заверки данных колонкового бурения используется ограниченный объем подземных горных выработок.

Сложные линзо- и жилообразные тела месторождений свинца и цинка первой подгруппы 2-й группы на стадии предварительной разведки, так же как и мощные рудные залежи, разведываются в основном скважинами колонкового бурения в сочетании с геофизическими исследованиями, но плотность разведочной сети для запасов категории C_1 принимается значительно большей — до $(50—100) \times (50—100)$ м. В стадию же детальной разведки для изучения сложных линзо- и жилообразных тел и подсчета запасов категории В обычно требуется наряду с бурением скважин проходка значительных объемов подземных горных выработок. В контуре запасов категории C_1 для подтверждения правильности увязки и оконтуривания рудных тел часто необходимо также бурение детализационных скважин (с поверхности и подземных), что значительно нарушает геометрическую правильность разведочной сети.

Месторождения свинца и цинка, представленные протяженными лентовидными залежами и жилообраз-

ными телами относительно небольшой мощности (вторая подгруппа 2-й группы Классификации ГКЗ СССР), отличаются выдержанностью рудных тел по простиранию, значительными колебаниями их размеров по падению (ширине) и небольшой, относительно постоянной мощностью.

Предварительная разведка рудных тел этой подгруппы по категории C_1 осуществляется буровыми скважинами при расстоянии между разведочными разрезами до 200 м и между скважинами в разрезах 25—100 м. Минимальные расстояния между скважинами в разрезах применяются для «лентовидных» залежей (Белоусовское месторождение), максимальные, соизмеримые с расстояниями между разведочными разрезами, — для рудных тел, наиболее выдержанных по падению (Иртышское месторождение).

При детальной разведке рудных тел рассматриваемой подгруппы часто необходимо уменьшать расстояния между разведочными скважинами в разрезах до 15—20 м, что можно осуществить только из подземных горных выработок, значительная часть которых должна проходиться непосредственно по рудным телам.

Среди месторождений свинца и цинка 2-й группы Классификации ГКЗ СССР известны многочисленные представители залежей переходного типа — от наиболее выдержанных мощных пластообразных до сложных ветвящихся ленто-, линзо- и жилообразных тел. По мере усложнения формы рудных тел и возрастания степени их изменчивости по простиранию и падению требуются увеличение плотности сети разведочных скважин и проходка все больших объемов прослеживающих подземных горных выработок.

Доразведка месторождений свинца и цинка 2-й группы осуществляется с учетом опыта их детальной разведки и отработки. В детальное изучение наряду с наиболее крупными залежами вовлекаются и более мелкие второстепенные рудные тела. Для доразведки рудных тел широко применяются подземные горные выработки и короткометражные скважины подземного бурения.

3-я группа месторождений свинца и цинка объединяет многочисленные мелкие по размерам объекты, представленные сложными по форме пласто-, линзо- и жилообразными телами скарнового, жильного и колчеданного типов, а также столбо- и линзообразные ветвящиеся метасоматические залежи в карбонатных породах, характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и крайне неравномерным распределением свинца и цинка.

Буровые работы на месторождениях этой группы при любой плотности разведочной сети — до $(25—50) \times (25—50)$ м — не могут обеспечить получение запасов категории выше, чем C_1. Поэтому уже на стадии предварительной разведки необходима проходка подземных горных выработок на одном-двух горизонтах, что обеспечивает заверку сплошности наиболее крупных рудных тел и установление основных особенностей локализации оруденения.

Детальная разведка месторождений этой группы в большинстве случаев должна осуществляться одновременно с их отработкой. Эта стадия работ фактически совмещается с подстадией доразведки эксплуатируемых объектов и выполняется с использованием больших объемов подземных горных выработок, коротко-метражных скважин и комплекса геофизических исследований.

Месторождения никеля и кобальта

В соответствии с Классификацией ГКЗ СССР месторождения никеля и кобальта по природным геологическим особенностям и сложности разведки разделяются на четыре группы (пять подгрупп). Для разведки месторождений каждой из подгрупп требуются свои методические приемы и плотность разведочной сети (табл. 39, 40).

1-я группа включает наиболее простые месторождения никеля, представленные крупными пластообразными залежами вкрапленных руд простого строения и выдержанной мощностью и относительно равномерным распределением полезных компонентов. Это плитообразные залежи вкрапленных медно-никелевых руд в расслоенных интрузивах основного — ультраосновного состава Талнахского и Норильского месторождений, «донная залежь» месторождения Ниттис-Кумужья и др.

Первоначальная редкая сеть разведочных скважин — (400—600) × (400—600) м — обеспечивает на этих месторождениях приближенное оконтуривание рудных залежей и получение запасов категории C_1, т. е. решает задачу предварительной разведки. Разведочные скважины обычно вертикальные; располагаются они

Таблица 39

Плотность сетей, применявшихся при разведке месторождений никелевых руд в СССР *

Классификация месторождений по сложности разведки		Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м)** для категорий запасов		
Группа	Подгруппа		A	B	C_1
1-я	—	Скважины	100/100	200/200	(400—600)/(400—600)
2-я	1-я	»	—	(50—100)/(50—100)	(75—100)/(150—200)
2-я	2-я	»	—	(25—50)/(25—50)	50/(50—100)
3-я	—	Скважины, горные выработки	—	—	(25—50)/(50—100)

* Для месторождений собственно кобальтовых руд систематизировать сведения о плотности разведочной сети не представляется возможным.

** В числителе указаны расстояния по падению, в знаменателе — по простиранию.

Таблица 40

Фактическая плотность сетей разведочных выработок, применявшихся на некоторых месторождениях никеля. По И. Д. Когану [13]

Месторождение	Группа месторождений по сложности разведки	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками (в м)* для категорий запасов		
		A	B	C_1
Мощные пологопадающие пластообразные залежи сульфидных руд				
Талнахское:				
вкрапленные руды	1-я	100/100	200/200	400/(400—600)
богатые руды	2-я	—	50/100	100/100
Норильское	1-я	(50—100/(50—100)	200/200	(400—500)/(400—500)
Ниттис-Кумужья	1-я	—	(250—300)/250	(500—600)/(500—600)
Протяженные наклонные пласто- и линзообразные залежи сульфидных руд				
Ждановское	2-я	—	100/(50—100)	100/(100—200)
Заполярное	2-я	—	(50—70)/(50—70)	(100—130)/(100—150)
Котсельваара-Каммикиви	2-я	—	50/50	50/(100—120)
Семилетка	2-я		75/50	(100—150)/(80—120)
Плащеобразные и линзовидные залежи силикатно-никелевых руд				
Бугеткольское	2-я	—	50/50	100/100
Буруктальское	2-я	—	(25—50)/(25—50)	100/(50—100)
Девладовское	2-я	25/25	50/50	100/100
Ново-Барановское	2-я	—	—	100/100
Средне-Побужская группа	2-я	20/20	40/(40—80)	(80—100)/(50—80)
Терновское	2-я	—	50/50	100/50
Шевченковское	2-я	—	(25—50)/50	100/100
Шуул-Кудукское	2-я	—	—	100/100
Липовское	3-я	—	25/25	50/50
Покровское	3-я	—	20/30	40/40
Старо-Айдырлинское	3-я	—	25/25	50/50
Шелеинское	3-я	—	20/40	40/80

* В числителе указаны расстояния по простиранию, в знаменателе — по падению.

в разведочных линиях, ориентированных вкрест удлинения рудоносных массивов.

В стадию детальной разведки для подсчета запасов категорий В и А сеть разведочных скважин сгущается соответственно до 200×200 и (50—100)×(50—100) м.

2-я группа месторождений никеля самая многочисленная. Она состоит из двух подгрупп: 1-й, включающей крупные протяженные пологопадающие и наклонные пласто-, плито- и линзообразные залежи сульфидных медно-никелевых руд, и второй, объединяющей большинство средних и мелких по масштабам плащеобразных, линзовидных и клиновидных залежей силикатных никелевых руд коры выветривания.

Пологопадающие и наклонные пласто- и линзообразные залежи сульфидных медно-никелевых руд (месторождения Норильского и Печенгского районов) характеризуются неравномерным распределением оруденения, сложным внутренним строением и представлены сплошными, брекчиевидными или прожилково-вкрапленными рудами, между которыми часто отмечаются постепенные взаимные переходы. Прожилково-вкрапленные руды обычно локализуются в самих интрузивных массивах, а богатые сплошные и брекчиевидные руды тяготеют предпочтительно к их лежачему боку, но нередко на то или иное расстояние отходят от интрузивных массивов во вмещающие породы.

Предварительная и детальная разведка рассматриваемой подгруппы месторождений осуществляется в основном наклонными (при пологом залегании рудных тел — вертикальными) скважинами колонкового бурения, расположенными в вертикальных разрезах. Часть разведочных скважин на стадии предварительной разведки должна, как правило, выходить в подстилающие вмещающие породы на 100—120 м с целью проверки возможного наличия в них самостоятельных тел богатых сплошных или брекчиевидных руд, а также зон прожилково-вкрапленного оруденения. Глубина разведочных скважин определяется протяженностью перспективных рудоносных дифференцированных интрузивных массивов по падению и сохранением в них промышленного оруденения.

Для получения запасов категорий C_1 и В плотность сети разведочных скважин принимается в среднем соответственно (100—150)×(100—150) и (50—75)×(50—75) м. Для заверки данных буровых работ, проверки сплошности оруденения и отбора технологических проб в ограниченном объеме проходятся подземные горные выработки.

Методика разведки плащеобразных и линзовидных залежей силикатных никелевых руд (Южный Урал, Казахстан, Украина) определяется их значительным площадным распространением (до нескольких квадратных километров), обычно неглубоким залеганием (до 100 м для коры площадного типа и до 250 м для коры линейно-трещинного и контактово-карстового типов), невыдержанностью по мощности и прерывистостью,

общим невысоким содержанием никеля и его неравномерным распределением. Рудные тела не имеют четких геологических границ, их кровля и почва сложены, как правило, мягкими глинистыми породами.

Разведка месторождений силикатного никеля осуществляется преимущественно вертикальными, реже наклонными скважинами колонкового бурения, которые бурятся самоходными агрегатами. На стадии предварительной разведки первоначально приближенно оконтуривают никеленосные коры выветривания, выделяют участки развития промышленных руд и оценивают их запасы по категориям C_2 и C_1. Сеть разведочных скважин при площадной коре выветривания принимается квадратной или прямоугольной при расстоянии между разведочными разрезами 80—100 м и между скважинами в разрезах 50—100 м. При линейном типе коры выветривания разведочная сеть обычно прямоугольная.

В стадию детальной разведки на участках, предназначенных для первоочередной отработки, для получения запасов категории В разведочную сеть сгущают примерно вдвое — до 50×50 м или до 50×(25—50) м (последний вариант — при прямоугольной сети). Часть разведочных профилей разбуривают через 20—25 м, что при площадной коре выветривания позволяет подсчитать запасы и по категории А (см. табл. 40). Глубина разведочных скважин зависит от мощности никеленосной коры выветривания: при площадном типе кор — до 100 м, при линейном — до 200 м, иногда и более. Во всех случаях часть разведочных скважин в обязательном порядке должна добуриваться до неизмененных пород. Данные колонкового бурения контролируются либо шурфами, которые проходят по стволам разведочных скважин, либо скважинами большого диаметра.

Доразведка месторождений силикатного никеля производится по мере отработки первоочередных участков путем сгущения разведочной сети на примыкающих площадях развития никеленосных кор выветривания. При определении необходимой плотности сети разведочных скважин учитывается опыт эксплуатационных работ.

3-я группа месторождений по сложности разведки самая разнообразная. К ней относятся наиболее сложные средние и мелкие сульфидные медно-никелевые месторождения, представленные неустойчивыми по мощности линзо- и жилообразными рудными телами, небольшие по площади (до 0,4 км²) прерывистые месторождения силикатных никелевых руд контактово-карстового типа, а также мелкие месторождения кобальтовых руд, характеризующиеся неправильной линзо-, трубообразной и гнездовой формой рудных тел и крайне неравномерным распределением оруденения (Дашкесанское месторождение).

Разведка сульфидных медно-никелевых и кобальтовых месторождений этой группы осуществляется в основном комбинированными горно-буровыми системами при высокой роли горных работ. Для разведки месторождений силикатных никелевых руд требуются примерно в 2 раза большая плотность сети разведочных сква-

жин — до (20—50) × (20—50) м — и бурение дополнительных детализационных скважин на внешнем контуре рудных тел.

Детальная разведка месторождений 3-й группы обычно совмещается с их эксплуатацией.

Месторождения никеля 4-й группы сложности промышленного значения не имеют. Из месторождений кобальта к ней относятся объекты очень сложного геологического строения с рудными телами, представленными мелкими по размерам сложными трещинными жилами весьма невыдержанной мощности, с многочисленными ответвлениями и пережимами, со сложным характером выклинивания и крайне неравномерным распределением кобальта (месторождение Ховуаксы).

Разведка их обычно проводится одновременно с эксплуатацией. Разведочные скважины на таких месторождениях позволяют устанавливать только благоприятные рудоносные структуры и наличие в них оруденения. Подземные горные выработки используются как для непрерывного прослеживания благоприятных рудоносных структур, так и при вскрытии промышленных руд — в качестве эксплуатационных.

ОПРОБОВАНИЕ

Опробование месторождений цветных металлов проводится на всех стадиях поисковых и разведочных работ с целью изучения качества руд (химического и минерального состава, физико-технических и технологических свойств), оконтуривания рудных тел и подсчета их запасов. Опробуются все разведочные выработки, вскрывшие оруденение, и выходы рудных тел в естественных обнажениях.

Методы (геологические, геофизические) и способы опробования выбираются исходя из конкретных геологических особенностей разведываемых месторождений. Принятые метод и способ опробования должны обеспечивать наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности.

В зависимости от целевого назначения различают четыре вида опробования: химическое, минералогическое, техническое и технологическое.

Химическое опробование

Назначение, отбор и обработка проб

Химическое опробование предназначено для установления химического состава руд и вмещающих пород, содержания в рудах главных и второстепенных полезных и вредных компонентов.

Главные компоненты определяют промышленное значение месторождения, природные сорта руд и контуры рудных тел. Главными полезными компонентами в месторождениях меди наряду с медью часто являются сульфидная сера, цинк, молибден, иногда

золото и серебро; в месторождениях свинца и цинка — медь, сульфидная сера, иногда серебро и золото; в месторождениях никеля и кобальта — медь, сульфидная сера, часто платиноиды.

В качестве второстепенных полезных компонентов в рудах цветных металлов обычно присутствуют золото, кадмий, селен, теллур, индий, галлий, германий, висмут, барий; к вредным примесям относятся прежде всего мышьяк, ртуть, фтор.

Химическое опробование при разведке месторождений цветных металлов осуществляется путем отбора проб в горных выработках, по керну и шламу буровых скважин.

Наиболее распространенный способ систематического геологического опробования в горных выработках (штольнях, штреках, ортах, шурфах и канавах) — бороздовый. Иные способы опробования — валовый, шпуровой, точечный, горстевой и другие — используются только для решения отдельных задач. Наряду с геологическим опробованием все более широко применяются разнообразные экспрессные геофизические (ядерно-физические) методы, которые при надлежащем контроле могут использоваться как для решения отдельных задач, так и для подсчета запасов.

При бороздовом опробовании в горных выработках борозды необходимо ориентировать в направлении максимальной изменчивости оруденения.

Опробование следует производить непрерывно на полную мощность рудного тела с выходом во вмещающие породы на величину, превышающую мощность пустого или некондиционного прослоя, включаемого в соответствии с кондициями в промышленный контур. Рудные тела без видимых геологических границ опробуются во всех разведочных сечениях, а рудные тела с четкими геологическими границами — по разреженной сети выработок.

Природные разновидности руд и минерализованных пород, отличающиеся по текстурным особенностям, минеральному составу, степени окисленности рудных минералов, физико-механическому состоянию (плотные, раздробленные и рыхлые землистые или порошковатые разности), должны быть опробованы раздельно — секциями; длина каждой секции (рядовой пробы) определяется внутренним строением рудного тела, изменчивостью химического состава, текстурно-структурных особенностей, физико-механических и других свойств руд.

Бороздовые пробы ориентируются, как правило, вкрест простирания рудных тел и в зависимости от угла падения последних отбираются либо по горизонтали, либо по вертикали. В канавах обычно опробуется дно; в шурфах — смежные или противоположные стенки; в штольнях, пройденных по простиранию рудных тел, и штреках — забой (через 4—6 м); в ортах и рассечках — стенки или кровля.

В горизонтальных горных выработках при крутом залегании рудных тел все пробы размещаются на постоянной, заранее установленной высоте. Принятые параметры проб должны быть обоснованы экспериментальными работами.

На месторождениях цветных металлов поперечное сечение борозды обычно составляет (5—10) × (2—5) см, а длина секционных проб — 1—2 м.

При отборе проб необходимо стремиться с максимальной возможностью соблюдать принятые размеры поперечного сечения борозды, по крайней мере, следует отбирать равное количество материала с равных по длине отрезков борозды. Весьма эффективно в этом отношении применение щелевых пробоотборников системы ЦНИГРИ с алмазными дисками, позволяющих выпиливать ровные борозды глубиной до 5 см и шириной 3 см. При двух или более щелевых пропилах можно получать борозды практически любой ширины.

В благоприятных условиях для опробования рудных тел в горных выработках могут использоваться и другие, кроме бороздового, способы отбора проб — точечный (горстевой), вычерпывания, шпуровой. Первые два способа часто применяются для опробования навалов отбитой руды при отборе валовых проб. Шпуровой способ из-за трудностей полного сбора шламового материала наиболее часто используется при проведении экспериментальных исследований с целью установления наличия избирательного выкрашивания или истирания рудного материала.

Скважины колонкового бурения опробуются обычным способом — делением керна вдоль его длинной оси на две примерно равные части (во избежание грубых ошибок пробоотбора при диаметре бурения 46 мм и менее в пробу отбирается весь керн, при этом для контроля и минералогических исследований сохраняются небольшие кусочки керна через равные промежутки по его длине — 30—50 см.). Длина секционных проб принимается та же, что и при бороздовом опробовании. Интервалы скважин (уходки) с разным выходом керна опробуются раздельно; при наличии избирательного истирания керна опробованию подвергаются как керн, так и измельченные продукты бурения (шлам, пыль и др.); мелкие продукты отбираются в самостоятельную пробу с того же интервала, что и керновая проба, обрабатываются и анализируются отдельно. Шлам и буровая мелочь при ударно-канатном и шарошечном бурении опробуются специальными пробоотборниками желоночного типа, погружаемыми в специальные приемные ящики; пробы отбираются по способу конверта.

Силикатные никелевые руды опробуются по керну скважин колонкового бурения или по материалу шнекового и других видов бурения. Длина секционных проб в зависимости от изменчивости состава никеленосной коры составляет 0,5—2,0 м, причем минимальные интервалы применяются при опробовании богатых гарниеритовых руд.

Обработка бороздовых, керновых и других видов разведочных проб и подготовка их к анализу производятся в соответствии с методическими материалами Научного совета по аналитическим методам (НСАМ) [7, 36], причем из единой аналитической пробы выделяются две частные аналитические лабораторные пробы (для

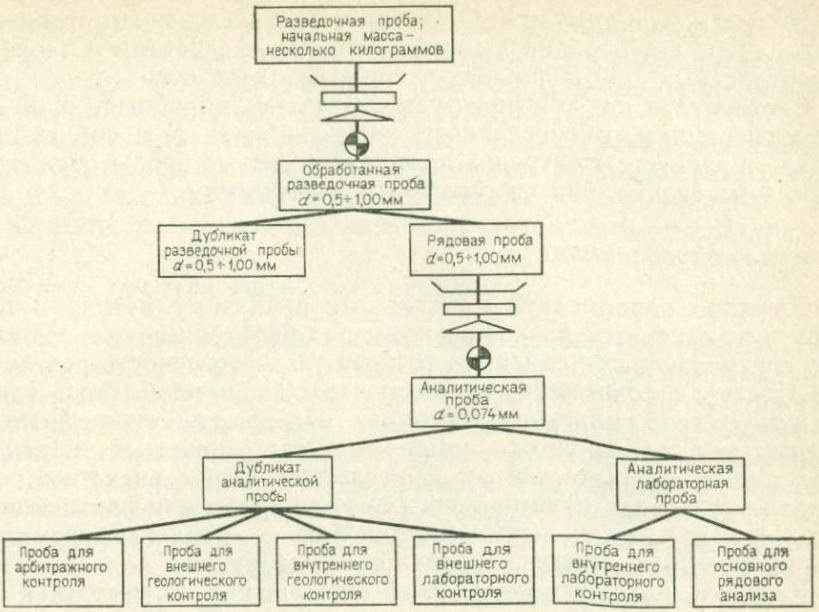


Рис. 22. Примерная схема обработки разведочной пробы.
d — диаметр наиболее крупных частиц, мм

основного рядового анализа и для анализа внутреннего лабораторного контроля) и дубликат, используемый для формирования проб внутреннего, внешнего и арбитражного геологического контроля аналитических работ (рис. 22).

Обработка, измельчение и сокращение проб осуществляются согласно формуле Г. О. Чечетта: $Q = Kd^2$, где Q — надежная масса сокращенной пробы, кг; K — коэффициент, характеризующий степень равномерности распределения полезного компонента в руде, крупность минералов, заключающих ценный компонент, и различие в плотности минералов, составляющих пробу; d — диаметр наибольших частиц пробы, мм. Величина коэффициента K для каждого месторождения обосновывается специальными экспериментальными исследованиями либо принимается по аналогии (0,1 — для равномерных и неравномерных руд и от 0,15 до 0,20 — для весьма неравномерных).

Крупное (до 100—300 мм) и среднее (до 5—12 мм) дробление проб осуществляется в щековых дробилках различной производительности, мелкое (до 0,7—3,0 мм) — на валках, тонкое (до 0,15 мм и мельче) — на дисковых и других истирателях.

В аналитическую лабораторию геологические пробы направляются измельченными до 0,5—1,0 мм; масса их может составлять 0,1—1,0 кг — в зависимости от видов анализов, для которых они предназначаются. Аналитические пробы обрабатываются

также согласно формуле Г. О. Чечетта с использованием стандартного набора сит с размером ячеек от 1,000 до 0,044 мм. Основные и контрольные пробы обрабатываются по одной схеме.

Систематически контролируется качество обработки проб по всем операциям, обоснованность коэффициента K и соблюдение схемы обработки. Контрольные крупнообъемные пробы обрабатываются по специально составленным программам.

Контроль опробования

Качество опробования по каждому принятому методу и способу и по основным разновидностям руд необходимо систематически контролировать, оценивая точность и достоверность результатов. Следует своевременно проверять положение проб относительно элементов геологического строения, надежность оконтуривания рудных тел по мощности, выдержанность принятых параметров проб и соответствие их фактической массы расчетной, определяемой исходя из выбранного сечения пробы или фактического диаметра и выхода керна (отклонения не должны превышать 10—20 % с учетом изменчивости плотности руды).

Контроль рядового бороздового опробования производится валовым способом либо широкими бороздами — (20—30) $\times$ 5 см. Особое внимание следует обращать на контроль бороздового опробования в участках, сложенных рудами, склонными к избирательному выкрашиванию,— брекчиевыми, сажистыми, содержащими прожилки молибдена (медно-порфировыми), «перебойными» (представленными частым чередованием полос крепких сплошных медноколчеданных или колчеданно-полиметаллических руд и мягких кварц-серицитовых или кварц-хлорит-серицитовых сланцев. Точность бороздового опробования контролируется сопряженными бороздами того же сечения.

Представительность керна для определения содержаний меди, свинца, цинка, никеля и кобальта и мощностей рудных интервалов должна быть подтверждена исследованиями возможности их избирательного истирания. Для этого необходимо по основным типам руд сопоставить результаты опробования керна, шлама и мути по интервалам с их различным выходом с данными опробования горных выработок, скважин ударного, пневмоударного и шарошечного бурения, а также колонковых скважин, пробуренных с применением съемных керноприемников. При низком выходе керна или его избирательном истирании, существенно искажающим результаты опробования, следует применять другие технические средства разведки. Точность кернового опробования контролируется отбором проб из вторых половинок керна.

При геофизическом опробовании в естественном залегании контролируется стабильность работы аппаратуры и воспроизводимость метода при одинаковых условиях рядовых и контрольных измерений. В случае выявления недостатков, влияющих на точность опробования, необходимо проводить переопробование (по-

вторный каротаж) рудного интервала. Достоверность принятых методов и способов опробования контролируется более представительным способом, как правило, валовым (в соответствии с существующими методическими рекомендациями).

Объем контрольного опробования должен быть достаточным для статистической обработки результатов и обоснованных выводов об отсутствии (или наличии) систематических ошибок, а при необходимости — и для введения поправочных коэффициентов.

Контроль качества аналитических работ

Все рядовые керновые и бороздовые пробы, как правило, анализируются на основные (медь, свинец, цинк, никель, кобальт) и важнейшие попутные (серу, золото, серебро, иногда платиноиды, молибден, оксидное железо, барит) компоненты, содержание которых учитывается при оконтуривании рудных тел по мощности.

Для выяснения степени окисленности первичных руд и установления границы зоны окисления должны выполняться фазовые анализы, которые на месторождениях меди производятся на медь в сульфидной, растворимой (сульфатной, карбонатной, оксидной) и силикатной формах, на месторождениях свинца и цинка — на свинец и цинк в сульфидной, сульфатной, карбонатной и других (нерастворимых) формах, на месторождениях никеля — на никель в сульфидной и силикатной формах.

Качество анализов проб на все основные и попутные компоненты, а также вредные примеси в течение всего периода разведки месторождения, независимо от внутрилабораторного контроля, должно систематически контролироваться геологическим персоналом разведочных партий. Результаты геологического контроля необходимо своевременно обрабатывать в соответствии с методическими указаниями НСАМ, утвержденными Мингео СССР и согласованными с ГКЗ СССР [7].

В зависимости от целевого назначения различают три вида геологического контроля: внутренний, внешний и арбитражный.

Объем внутреннего и внешнего контроля должен обеспечить представительность выборки по каждому классу содержаний и периоду разведки. При выделении классов следует учитывать требования кондиций для подсчета запасов. В случае большого числа анализируемых проб (2000 и более в год) на контрольные анализы направляется 5 % от их общего числа; при меньшем числе проб по каждому выделенному классу содержаний должно быть выполнено не менее 30 контрольных анализов за контролируемый период. Отработка данных внутреннего и внешнего контроля по каждому классу содержаний производится по периодам (квартал, полугодие, год) отдельно для разных методов анализа и лабораторий, выполняющих основные анализы.

Пробы, направляемые на внутренний и внешний контроль, должны характеризовать все разновидности руд месторождения и классы содержаний. В обязательном порядке на внутренний конт-

роль направляются все пробы, в которых установлены аномально высокие содержания анализируемых компонентов, в том числе ураганные.

Внутренний контроль анализов проводится путем анализа зашифрованных контрольных проб, отобранных из дубликатов аналитических, в той же лаборатории, которая анализирует основные пробы. Он предназначен для определения фактических величин случайных погрешностей рядовых анализов и соответствия их предельно допустимым среднеквадратичным погрешностям, которые регламентируются инструкциями ГКЗ по применению классификации запасов к месторождениям различных видов минерального сырья (табл. 41). Абсолютная величина среднеквадратичной случайной погрешности анализов σ определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (C_1 - C_2)^2}{2m}},$$

где C_1 и C_2 — содержания компонентов, определенные по рядовому и контрольному анализам разведочной пробы, % (г/т); m — число контрольных проб.

Относительная величина среднеквадратичной погрешности σ_r (в %) вычисляется по формуле $\sigma_r = \sigma \cdot 100/\overline{C}$, где $\overline{C}$ — среднее содержание компонента в пробе по всем ($2m$) определениям, % (г/т); $\overline{C} = \Sigma (C_1 + C_2)/2m$.

Обработка данных внутреннего геологического контроля производится систематически в журналах унифицированной формы (табл. 42). При установлении среднеквадратичных погрешностей, превышающих допустимые, анализы всех проб соответствующего периода бракуются.

В рассмотренном примере (см. табл. 42) относительная среднеквадратичная случайная погрешность анализов составляет 5,9 %. Предельное ее значение, установленное ГКЗ СССР для класса содержаний 0,5—1,0, равно 8,5 % (см. табл. 41), следовательно, воспроизводимость результатов определения меди удовлетворительная.

Внешний контроль анализов предназначен для оценки величин систематических расхождений между результатами, полученными в основной и контролирующей лабораториях. Контроль осуществляется путем анализа в контролирующей лаборатории дубликатов аналитических проб, хранящихся в основной лаборатории. На внешний геологический контроль направляются пробы, прошедшие внутренний геологический контроль.

При наличии стандартных образцов состава (СОС), аналогичных исследуемым пробам, внешний контроль следует осуществлять, включая их в зашифрованном виде в партии проб, которые сдаются на анализ в основную лабораторию.

Данные внешнего контроля обрабатываются в течение минимального периода (квартал, полугодие) раздельно по лабораториям, производившим основные анализы; число проанализирован-

Таблица 41

Предельно допустимые относительные средние квадратические случайные погрешности анализов проб на основные, сопутствующие и шлакообразующие элементы руд цветных металлов

Компонент, единица измерения	Класс содержаний компонентов в руде	Предельно допустимые относительные средние квадратические погрешности	Компонент, единица измерения	Класс содержаний компонентов в руде	Предельно допустимые относительные средние квадратические погрешности
Медь, %	>5	2,5	Молибден, %	>1	3,5
	3—5	4,5		0,5	6
	1—3	5,5		0,2—0,5	8,5
	0,5—1,0	8,5		0,1—0,2	13
	0,2—0,5	13		0,05—0,1	18
	0,1—0,2	17		0,02—0,05	23
	0,05—0,1	25	Сульфат бария, %	>60	4
	0,01—0,05	30		40—60	5,5
Свинец, %	>10	2,5		20—40	9
	5—10	3,5		10—20	12
	2—5	6,0		5—10	15
	1—2	8,5		1—5	17
	0,5—1,0	11	Трехокись вольфрама, %	1—2	8
	0,2—0,5	13		0,5—1	9
Цинк, %	>10	2,5		0,2—0,5	12
	5—10	3,5		0,1—0,2	16
	2—5	6,0		0,05—0,1	18
	0,5—2	11		0,02—0,05	25
	0,2—0,5	13	Олово, %	0,5—1	7,5
Никель, %	1—2	5		0,2—0,5	10
	0,5—1	7		0,1—0,2	15
	0,2—0,5	10		0,05—0,1	20
Кобальт, %	>1	2,5		0,025—0,05	30
	0,5—1	3,5	Висмут, %	0,6—1	8,5
	0,1—0,5	6,0		0,2—0,6	11
	0,05—0,1	10		0,05—0,2	15
	0,01—0,05	25		0,02—0,05	20
Сера, %	30—40	1,2		0,005—0,02	30
	20—30	1,5	P_2O_5, %	>0,3	8,5
	10—20	2		0,1—0,3	11
	2—10	6		0,05—0,1	15
	1—2	9		0,01—0,05	25
	0,5—1	12		0,001—0,01	30
	0,3—0,5	15	Ртуть, %	0,2—1,0	8,5
Золото, г/т	64—128	4,5		0,04—0,2	17
	16—64	10		0,01—0,04	20
	4—16	18		0,005—0,01	25
	1—4	25	Сурьма, %	2—5	5,5
	0,5—1,0	30		0,5—2,0	12
	<0,5	30		0,1—0,5	10
Серебро, г/т	100—300	7		<0,1	30
	30—100	12	Мышьяк, %	>2	3
	10—30	15		0,5—2,0	6
	1—10	22		0,05—0,5	16
	0,5—1	25		0,01—0,05	25
				<0,01	30

Компонент, единица измерения	Класс содержаний компонентов в руде	Предельно допустимые относительные средние квадратические погрешности	Компонент, единица измерения	Класс содержаний компонентов в руде	Предельно допустимые относительные средние квадратические погрешности
Кадмий, %	0,1	11	Германий, г/т	<50	18
	0,02—0,1	18		10—50	26
	<0,02	25		<10	30
Рений, г/т	>40	18	Cr_2O_3, %	10—20	2,5
	20—40	19		5—10	3
	10—20	22		1—5	5
	5—10	24		0,1—1	8,5
	1—5	25			
	0,5—1	30	SiO_2, %	<50	1,3
	0,1—0,5	30		20—50	2,5
	0,01—0,1	30		5—20	5,5
Селен, г/т	100—500	15		1,5—5	11
	50—100	20			
	20—50	25	Fe_2O_3, %	10—20	3
	5—20	28		5—10	6
	1—5	30		1—5	12
Теллур, г/т	100—500	17			
	50—100	22	FeO, %	5—12	5,5
	20—50	25		3,5—5	10
	5—20	30		<3,5	20
	1—5	30			
Индий, г/т	50—100	25	MgO, %	20—40	3
	20—50	28		10—20	4,5
	5—20	30		1—10	9
	1—5	30	Al_2O_3, %	15—25	4,5
Таллий, галлий, г/т	>50	18		10—15	5
	10—50	25		5—10	6,5
	<10	30		1,5	12

Примечание. Если выделенные на месторождении классы содержаний отличаются от указанных, то величины предельных значений относительных среднеквадратичных погрешностей определяются интерполяцией.

ных проб за период должно быть статистически достаточным для получения надежных выводов.

Для каждого класса содержаний определяемого компонента по результатам анализа не менее 30—40 проб, выполненных в основной и контролирующей лабораториях, вычисляют абсолютное и относительное значения систематического расхождения с учетом его знака по формулам

$$\bar{d} = \frac{\Sigma (C_o - \bar{C}_k)}{m}; \qquad \bar{d}_r = \frac{\bar{d} \cdot 100}{\bar{C}_o},$$

где $\bar{d}$ — абсолютное систематическое расхождение, %, г/т; C_o — содержание компонента в пробе по данным основной лаборатории (рядовой анализ), %, г/т; $\bar{C}_к$ — содержание компонента в пробе по данным контролирующей лаборатории — среднее из двух оп-

ределений, % $\left(\overline{C}_к = \frac{C_1 + C_2}{2}\right)$; d_r — относительное систематическое расхождение, %, $\overline{C}_o$ — содержание компонента в классе из m проб по данным определения в основной лаборатории, %, г/т ($\overline{C}_o = \Sigma C_o/m$); m — число контрольных проб.

Разделение проб на классы содержаний производится по результатам основных анализов рядовых проб.

Обработка данных внешнего геологического контроля производится систематически в журналах унифицированной формы (табл. 43).

Оценка значимости систематического расхождения производится с помощью t-критерия (распределение Стьюдента), теоре-

Таблица 42

Пример обработки данных внутреннего геологического контроля

Название лаборатории _____

Метод анализа _____

Определяемый компонент — медь

Класс содержаний — (0,5—0,99) %

Рядовые анализы выполнены в период с _____ 19__ г. по _____ 19__ г

Контрольные анализы выполнены с _____ 19__ г. по _____ 19__ г.

№ п/п	Номер рядового анализа	Содержание по рядовому анализу C_1, %	Номер контрольного анализа	Содержание по контрольному анализу C_2, %	$C_1 - C_2$	$(C_1 - C_2)^2$
1	178	0,86	5047	0,86	0,00	0,0000
2	361	0,53	5048	0,55	0,02	0,0004
3	576	0,86	5049	0,85	0,01	0,0001
4	629	0,60	5050	0,59	0,01	0,0001
5	718	0,54	5051	0,51	0,03	0,0009
6	731	0,91	5052	1,02	0,11	0,0121
. . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
38	984	0,51	5239	0,53	0,02	0,0004
39	987	0,73	5240	0,94	0,21	0,0441
40	992	0,88	5241	0,85	0,03	0,0009
41	996	0,99	5242	0,95	0,04	0,0016
42	1137	0,85	5243	1,09	0,24	0,0576
43	1139	0,50	5244	0,47	0,03	0,0009
Сумма		29,19		29,61		0,1446

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,1446}{2 \cdot 43}} = 0,0017 \approx 0,04\ \%;\quad \overline{C} = (29,19 + 29,61)/2 \cdot 43 = 0,68\ \%;$$

$$\sigma_r = 0,04 \cdot 100/0,68 \approx 5,9\ \%.$$

Таблица 43

Пример обработки данных внешнего геологического контроля

Название основной лаборатории _____

Метод анализа (основная лаборатория) _____

Название контролирующей лаборатории _____

Метод анализа (контролирующая лаборатория) _____

Определяемый компонент — медь

Класс содержаний — (0,40—0,99) %

Основные анализы выполнены с ____ 19____ г. по ____ 19____ г.

Контрольные анализы выполнены с ____ 19____ г. по ____ 19____ г.

№ п/п	Шифры		Результаты определений, %		$d = C_0 - \bar{C}_к$	$d - \bar{d}$	$(d - \bar{d})^2$
	основной лаборатории	контрольной лаборатории	основной лаборатории (рядовой анализ) C_0	контрольной лаборатории (среднее из двух определений) $C_к$			
1	178	1	0,86	0,79	0,07	0,10	0,0100
2	361	2	0,43	0,49	—0,06	—0,03	0,0009
3	718	3	0,54	0,62	—0,08	—0,05	0,0025
4	731	4	0,91	0,90	0,01	0,04	0,0016
5	750	5	0,43	0,50	—0,07	—0,04	0,0016
6	835	6	0,98	0,98	0,00	0,03	0,0009
. .	. . . .	. . . .	. . . . .	. . . . .	. . . .	. . . .	. . . .
31	905	31	0,61	0,65	—0,04	0,01	0,0001
32	919	32	0,73	0,76	—0,03	0	0
33	984	33	0,64	0,64	0,00	0,03	0,0009
34	190	34	0,90	0,93	—0,03	0	0
35	191	35	0,58	0,62	—0,04	—0,01	0,0001
36	203	36	0,61	0,60	0,01	0,04	0,0016
Сумма			24,61	25,56	—0,95		0,0557

Число контрольных проб $m = 36$; $\bar{C}_0 = 24{,}61/36 = 0{,}68$ %;
$\bar{d} = -0{,}95/36 = -0{,}026$ % $\approx -0{,}03$ %; $\bar{d}_r = -0{,}026 \cdot 100/0{,}68 = -3{,}8$ %

тическое значение которого ($t_{теор}$) табулировано (табл. 44), а экспериментальное ($t_{эксп}$) определяется по следующей формуле:

$$t_{эксп.} = \frac{|\bar{d}|\sqrt{m}}{\sigma_d},$$

где σ_d — выборочное среднеквадратичное отклонение, рассчитываемое по формуле

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\Sigma (d - \bar{d})^2}{m - 1}}.$$

При $t_{эксп} < t_{теор}$ систематическое расхождение незначимо.

Таблица 44

Табулированное значение t-критерия (распределение Стьюдента)

Число степеней свободы f*	Уровень значимости				
	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	6,31	12,71	31,82	63,66	636,62
2	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
5	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
7	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
12	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
13	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
14	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
20	1,73	2,09	2,53	2,85	3,85
21	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
22	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
23	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
24	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
25	1,71	2,06	2,48	2,79	3,73
26	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
27	1,70	2,05	2,47	2,77	3,69
28	1,70	2,05	2,47	2,76	3,67
29	1,70	2,04	2,46	2,76	3,66
30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
40	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
60	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
120	1,66	1,98	2,36	2,62	3,37
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

* $f = m - 1$.

В рассматриваемом примере (см. табл. 43) $\bar{d} = -0{,}03$ %, тогда для первой пробы $d_1 - \bar{d} = 0{,}07 - (-0{,}03) = 0{,}10$; для второй пробы $d_2 - \bar{d} = -0{,}06 - (-0{,}03) = -0{,}03$ и т. д.

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{0{,}0557}{36-1}} = \sqrt{0{,}0016} = 0{,}04;$$

$$t_{\text{эксп.}} = \frac{|-0{,}026| \cdot \sqrt{36}}{0{,}04} = 3{,}9.$$

Теоретическое значение t для уровня значимости 0,05 (95 % доверительная вероятность) при $m=36$ составляет 2,03; таким образом, в данном примере $t_{эксп} > t_{теор}$. Следовательно, систематическое расхождение значимо.

При использовании t-критерия для оценки значимости систематических расхождений следует иметь в виду, что даже при фиксированном значении f (30—40) величина $t_{эксп}$ зависит от фактической воспроизводимости результатов основных и контрольных определений. Чем лучше воспроизводимость, тем меньшую систематическую погрешность можно выявить. Иногда при достаточно хорошей воспроизводимости статистически значимая погрешность может оказаться несущественной для решения данной задачи. Наоборот, при плохой воспроизводимости может остаться невыявленной весьма существенная систематическая погрешность.

Дополнительная обработка результатов внешнего геологического контроля может выполняться с применением других способов: критериев «ничтожной погрешности», знаков, построения корреляционных графиков и т. п.

Арбитражный контроль анализов организуется в случае установления внешним геологическим контролем систематических расхождений между результатами анализов, выполненных в основной и контролирующей лабораториях. Назначение арбитражного контроля следующее: 1) выявление лаборатории (основной или контролирующей), допускающей систематические погрешности в анализах; 2) установление причины систематических расхождений и разработка мероприятий для устранения этих причин; 3) уточнение величины систематической погрешности; 4) решение вопроса о необходимости и целесообразности введения поправочных коэффициентов (и их величин) в результате рядовых анализов геологических проб.

Для арбитражного контроля используются аналитические дубликаты рядовых проб, для которых имеются результаты рядовых и внешних контрольных анализов. На арбитражный анализ направляется 30—40 проб того класса содержаний, по которому установлены систематические расхождения.

При наличии СОС, аналогичных исследуемым пробам, их также следует включить в зашифрованном виде в партию проб, сдаваемых на арбитраж. Для каждого СОС должно быть получено 10—15 результатов контрольных анализов.

Методика отработки данных и выявления систематических расхождений при арбитражном контроле та же, что и при внешнем контроле. Данные арбитражного контроля принимаются за истинные, а установленную систематическую погрешность относят к результатам анализов той лаборатории, которая эту погрешность допускает. Вопрос о введении поправок в анализы геологических проб решается в каждом конкретном случае отдельно.

Минералогическое и техническое опробование

Минералогическое опробование проводится с целью определения минерального и петрографического состава руд, их природных разновидностей и сортов, а также вмещающих пород. Оно выполняется путем минералогического изучения штуфов, аншлифов, мономинеральных и других проб, более или менее равнозначно представляющих рудные тела и природные типы руд.

Систематические специальные минералогические исследования осуществляются с целью изучения характера и глубины распространения зоны окисления, выделения и оконтуривания природных технологических сортов (по степени окисленности, минеральному составу, текстурным и структурным признакам и др.). Минеральный состав руд, их текстурно-структурные особенности и физические свойства должны быть изучены с применением минералого-петрографических, физических, химических и других видов анализа. При этом наряду с описанием отдельных минералов количественно оценивается их распространенность.

Особое внимание уделяется минералам основных компонентов: определению их количества, выяснению их отношений между собой и с другими минералами (наличие и размеры сростков, характер срастания), размеров зерен и соотношений различных по крупности классов.

В процессе минералогических исследований должно быть изучено распределение основных попутных компонентов и вредных примесей и составлен их баланс по формам нахождения в минеральных соединениях.

Техническое опробование предназначено для изучения физико-механических свойств руд и вмещающих пород, что необходимо для решения горнотехнических и других условий отработки месторождений. Важнейшими из этих свойств являются объемная масса, влажность, крепость, разрыхляемость, кусковатость, склонность к самовозгоранию.

Объемная масса руды вычисляется как отношение массы руды в природном залегании к занимаемому ею объему. Она устанавливается отдельно для каждого промышленного и минерального типа руд путем лабораторных замеров парафинированных образцов, а также с помощью плотного гамма-гамма-каротажа (ГГК-П) и отбора целиков объемом от долей до нескольких кубических метров. При отборе последних особое внимание уделяется правильности определения объема отбитого целика, для чего тщательно замеряется поверхность горных выработок до и после отбойки рудной массы.

Объемная масса рыхлых, сильно трещиноватых и кавернозных руд (силикатных никелевых руд, окисленных медных и свинцово-цинковых железных шляп и т. п.) определяется, как правило, в целиках.

Одновременно с замерами объемной массы руд вычисляется влажность того же материала по следующей формуле: $B = (q_в —$

$-q_c)/q_в$, где B — влажность; $q_в$ — масса руды во влажном состоянии; q_c — масса сухой руды.

Другие физико-механические свойства руд — крепость, разрыхляемость, склонность к самовозгоранию — определяются в соответствии с Инструкцией по изучению инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых при разведке.

В результате изучения химического и минерального состава, текстурно-структурных особенностей и физических свойств руд устанавливаются их природные разновидности и предварительно намечаются промышленные (технологические) типы, требующие селективной добычи и раздельной переработки.

Окончательное выделение промышленных (технологических) типов и сортов руд производится по результатам технологического изучения выявленных на месторождении природных разновидностей.

Технологическое опробование

Технологические свойства руд и особенности их переработки

Технология переработки руд цветных металлов зависит от их минерального состава, степени окисления, комплексности, текстур и структур, крупности зерен и степени взаимного прорастания одних минералов другими, сопротивляемости руд дроблению и степени шламообразования при их дроблении и измельчении. Все это обусловливает выделение большого числа промышленных типов руд, для которых требуются различные технологические схемы переработки (см. табл. 15).

По степени окисления руды медных и полиметаллических месторождений подразделяются на три типа: сульфидный, смешанный и окисленный. Критерием для отнесения руд к тому или иному типу служит содержание в рудах меди, свинца и цинка в оксидной форме, ориентировочная величина которого указана в табл. 45. Однако эти цифры для каждого месторождения в процессе технологических исследований руд должны уточняться. Так для Удоканского месторождения разработаны иные пределы: к сульфидным, смешанным и окисленным относятся руды, содержащие соответственно до 30, 31—70 и более 70 % меди в оксидной форме. Свыше 70 % медных и свинцово-цинковых руд относится к сульфидному типу; обогащаются они флотационными способами.

Из сульфидных медных руд медно-порфирового типа медь и молибден извлекаются в коллективный концентрат, подвергающийся перечистке с получением кондиционных медного и молибденового концентратов (промпродуктов). Из халькопирит-борнит-халькозиновых руд месторождений медистых песчаников и кварц-халькопиритовых руд жильных месторождений медьсодержащие минералы хорошо извлекаются прямой флотацией. Сплошные медные и медно-цинковые колчеданные руды обычно перерабатываются по схемам селективной флотации с получением медного,

Таблица 45

Типы медных и свинцово-цинковых руд по степени окисленности

Тип руд	Содержание оксидов, %		
	меди	свинца	цинка
Сульфидный	<10	<15	<10
Смешанный	11—50	16—50	11—50
Окисленный	>50	>50	>50

цинкового и пиритного концентратов. Вкрапленные медно-цинковые колчеданные руды перерабатываются преимущественно по комбинированным коллективно-селективным схемам с получением коллективных концентратов и последующей их селекцией.

Халькопирит-магнетитовые (скарновые) и борнит-пирротин-магнетитовые (железо-медные в габброидах) руды перерабатываются по комбинированным схемам, включающим флотацию минералов меди и магнитную сепарацию магнетита.

Извлечение меди из руд различных типов варьирует от 50 до 97 %, содержание ее в концентратах от 15 до 50 % — в зависимости от минерального состава руд, их структурных и текстурных особенностей. Наиболее высокие содержания меди характерны для концентратов, получаемых из борнитовых и халькозиновых руд, минимальные — из халькопирит-пиритовых.

Для обогащения свинцово-цинковых руд применяются три основные схемы: коллективной, коллективно-селективной и последовательной селективной флотации. Схема коллективной флотации с последующей селекцией коллективного концентрата наиболее эффективна для обогащения бедных прожилково-вкрапленных полиметаллических руд. Коллективно-селективная схема применяется тогда, когда в рудах, кроме свинца и цинка, присутствует медь. Сначала получают свинцово-медный концентрат, подвергающийся затем селекции; из оставшегося материала в самостоятельные концентраты последовательно извлекаются сфалерит и пирит. По схеме последовательной селективной флотации обогащается большинство свинцово-цинковых руд, характеризующихся относительно равномерной вкрапленностью минералов. Обычно вначале получают свинцовый концентрат, а затем цинковый.

Извлечение свинца в товарные концентраты по отдельным типам руд колеблется от 71 до 94 %, а цинка — от 70 до 90 %.

В целях повышения содержаний меди, свинца и цинка в рудах, направляемых на флотацию, нередко используется предварительное гравитационное обогащение в тяжелых суспензиях, в результате чего отделяется 30—40 % пустой породы с небольшими потерями свинца, цинка и меди в легкой фракции. Применение этого метода позволяет вовлекать в промышленное освоение руды с относительно низкими содержаниями металлов.

Богатые сульфидные медно-никелевые руды с содержанием никеля более 1 % при отношении никеля к меди не менее 1 : 1 и с пониженным (менее 25 %) содержанием железа направляются непосредственно в плавку. При содержании железа более 25 % (и серы более 20 %) богатые руды перед плавкой флотируют для разделения на медный и никелевый концентраты и вывода пирротина в отдельный продукт. Рядовые медно-никелевые руды с содержанием никеля менее 1 % обогащаются; при этом получают коллективный медно-никелевый или селективные никелевый и медный концентраты.

Содержащийся в медно-никелевых рудах кобальт в процессе обогащения накапливается в медно-никелевом, медном и никелевом концентратах. Вредными примесями сульфидных медно-никелевых руд являются цинк, свинец и мышьяк; их предельные содержания устанавливаются техническими условиями.

Силикатные никелевые руды по комплексу рудообразующих минералов разделяются на два технологических типа: железистые (охристые, лептохлоритовые, гематитовые) и магнезиальные (серпентиниты с никелевыми силикатами).

Все силикатные руды подвергаются непосредственному металлургическому переделу: железистые — гидрометаллургическим (при содержании магния менее 3 %) или пирометаллургическим методами, магнезиальные — только пирометаллургическим. К вредным примесям в силикатных никелевых рудах относятся медь и хром, а при плавке на ферроникель — и фосфор. Предельные содержания этих компонентов определяются техническими условиями.

Арсенидные и сульфоарсенидные кобальтовые руды перерабатываются по технологии аммиачно-карбонатного выщелачивания в автоклавах: металл осаждается в виде карбонатного концентрата, в котором согласно ТУ 48-0407-1—75 лимитируются содержания кобальта (в марке ККК-1 не менее 10 %), мышьяка (не более 2,25 %) и нерастворимого остатка (не более 5 %).

При обогащении комплексных кобальтсодержащих медно-магнетитовых и медноколчеданных руд кобальт извлекается в самостоятельные кобальт-пиритовые концентраты.

Окисленные и смешанные руды обогащаются значительно хуже, чем сульфидные, особенно содержащие медь в силикатной форме. Цинк в оксидной форме в товарные концентраты практически не извлекается. Окисленные и смешанные руды перерабатываются либо по сложным комбинированным схемам, включающим сульфидизацию окисленных минералов и флотацию получаемого материала, либо гидрометаллургическим способом — путем химического вышелачивания металлов и последующего их осаждения.

Требования промышленности к качеству концентратов, получаемых из руд цветных металлов

Все медные, свинцово-цинковые и медно-никелевые руды являются комплексными. При переработке их обычно получают товарные медные, свинцовые, цинковые и никелевые концентраты, часто

Таблица 46

Требования к качеству медных концентратов (ОСТ 48—77—74)

Марка концентрата	Содержание, %			Марка концентрата	Содержание, %		
	меди не менее	примесей не более			меди не менее	примесей не более	
		цинка	свинца			цинка	свинца
КМ-0	40	2	2,5	КМ-5	20	10	8
КМ-1	35	2	3	КМ-6	18	11	9
КМ-2	30	3	4,5	КМ-7	15	11	9
КМ-3	25	5	5	ППМ	12	11	9
КМ-4	23	9	7				

Примечания: 1. Содержание меди в концентрате КМ-0, которому в установленном порядке присвоен государственный Знак качества, должно быть не менее 40,5 %. 2. Содержание молибдена во всех марках медного концентрата и промпродукта не должно превышать 0,12 %; содержание влаги устанавливается по соглашению сторон; наличие посторонних включений (куски породы, руды, дерева, металла и т. д.) не допускается; содержание золота и серебра не нормируется.

также серные (пиритные), молибденовые, баритовые и магнетитовые, иногда промпродукты, содержащие благородные и другие металлы. В товарных концентратах разных марок, выделяемых по содержанию основных компонентов, лимитируется и содержание примесей. Так, в медных концентратах ограничивается содержание цинка и свинца (табл. 46) *, в свинцовых — цинка и меди (табл. 47), цинковых — железа, кремнезема, меди и мышьяка (табл. 48). В серных концентратах лимитируются содержания серы, свинца и цинка, мышьяка, фтора и влаги (табл. 49).

Таблица 47

Требования к качеству свинцовых концентратов (ОСТ 148—82—76)

Марка концентрата	Содержание, %			Марка концентрата	Содержание, %		
	свинца не менее	примесей не более			свинца не менее	примесей не более	
		цинка	меди			цинка	меди
КС0-А	74	2,5	1,5	КС4-А	56	7,0	3,3
КС0	73	2,5	1,5	КС4	55	8,0	3,5
КСА-1	71	3,0	1,7	КС5	50	10	4,0
КС1	70	3,0	1,7	КС6	45	11	5,0
КСА-2	66	4,0	2,0	КС7	40	13	6,0
КС2	65	4,0	2,0	ППС	30	Не нормируется	Не нормируется
КС3-А	61	5,5	2,5				
КС3	60	6,0	2,3	ПСМ	20	То же	20,0

* В таблицах 46—49 номера и требования стандартов приведены по состоянию на 1 января 1982 г.

Таблица 48

Требования к качеству цинковых концентратов *

Марка концентрата	Содержание, %**				
	цинка не менее	примесей не более			
		железа	кремнезема	меди	мышьяка
КЦ-0	60/59	3,8/4,0	1,8/2,0	0,8/0,9	0,05/0,05
КЦ-1	58/56	4,5/5,0	2/2	1,0/1,0	0,05/0,05
КЦ-2	55/53	6/7	2,5/3	1,2/1,5	0,1/0,1
КЦ-3	51/50	8/9	3,5/4	1,9/2,0	0,2/0,3
КЦ-4	—/45	—/12	—/5	—/3,0	—/0,5
КЦ-5	—/40	—/13	—/6	—/3,0	—/0,5
КЦ-6	—/40	—/16	—/10	—/4,0	—/0,6
КЦИ	—/40	—/18	—/6	—/3,5	—/0,5

* Таблица составлена на основании ОСТ 48—31—81.

** В числителе указаны содержания, требуемые в концентратах, которым присвоен государственный Знак качества, в знаменателе — в рядовых концентратах.

Примечание. Во всех марках цинкового концентрата по требованию потребителей определяется массовая доля фтора. Концентраты с массовой долей фтора более 0,02 % поставляются по соглашению сторон. Содержание индия нормируется только для рядового концентрата марки КЦИ, где оно должно составлять не менее 0,04 %.

Таблица 49

Требования к качеству колчедана серного флотационного (ГОСТ 444—75)

Показатель	Нормы для марок				
	КСФ-0	КСФ-1	КСФ-2	КСФ-3	КСФ-4
Внешний вид	Сыпучий порошок; не допускаются инородные включения (куски породы, руды, дерева, бетона, металла и др.)				
Содержание, %:					
сульфидной серы не менее	50	48	45	42	38
суммарное свинца и цинка не более	Не нормируется	1	1	1	1
мышьяка не более	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
фтора не более	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
влаги не более	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8

Примечание. По согласованию с потребителем допускается поставка флотационного серного колчедана с суммарным содержанием свинца и цинка более 1 %; в колчедане марки КСФ-0 суммарное содержание свинца и цинка устанавливается по согласованию с потребителем.

Особенности технологического опробования на разных стадиях разведочных работ

Технологические свойства руд изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералого-технологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах.

Отбор проб для технологических исследований на разных стадиях геологоразведочных работ следует выполнять в соответствии с временным методическим руководством «Технологическое опробование месторождений цветных металлов в процессе разведки», утвержденным Минцветметом СССР и Мингео СССР в 1982 г.

При поисково-оценочных работах технологические свойства руд оцениваются по аналогии с другими месторождениями, сходными по минеральному составу руд, технология переработки которых освоена. Тем не менее, для новых труднообогатимых типов руд (окисленных, силикатных или оксидных, комплексных медно-полиметаллических колчеданных с тонким прорастанием различных минералов друг с другом) уже в процессе поисково-оценочных работ возникает необходимость отбора и исследования лабораторных технологических проб.

На стадии предварительной разведки в лабораторных условиях изучаются технологические свойства разных природных типов и сортов руд. Масса лабораторных проб составляет от 0,1 до 2 т. При необходимости разработанные технологические схемы проверяются на укрупненных установках непрерывного действия, для чего требуются пробы массой до 20 т (иногда и более).

На стадии детальной разведки ранее разработанные технологические схемы обогащения различных технологических типов руд уточняются в полупромышленных или промышленных условиях на пробах массой в несколько тысяч тонн. При необходимости проводится технологическое картирование месторождений путем отбора большого числа малых технологических проб (1—2 кг), которые исследуются по разработанным на более крупных пробах технологическим схемам.

Минералого-технологическими и малыми технологическими пробами, отобранными по определенной сети, должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд, выявленные на месторождении. По результатам испытаний этих проб осуществляется геолого-технологическая типизация руд месторождения — выделяются промышленные (технологические) сорта и типы руд, изучается пространственная изменчивость вещественного состава, физико-механических и технологических свойств последних, составляются геолого-технологические карты, планы и разрезы. Технологические свойства всех промышленных (технологических) типов руд должны быть изучены на лабораторных пробах в степени, необходимой для выбора оптимальной технологической схемы их переработки и определения основных технологических показателей обогащения.

Полупромышленные технологические пробы служат для проверки технологических схем и уточнения показателей обогащения руд, полученных на лабораторных пробах. Полупромышленные технологические испытания проводятся в соответствии с программой, разработанной организацией, выполняющей технологические исследования, совместно с геологоразведочной организацией и согласованной с проектной организацией отраслевого министерства. Пробы отбираются по специальному проекту.

Укрупненные лабораторные и полупромышленные технологические пробы должны быть представительными, т. е. отвечать по химическому и минеральному составу, структурно-текстурным особенностям, физическим и другим свойствам среднему составу руд данного промышленного (технологического) типа с учетом возможного разубоживания.

В период эксплуатации месторождений цветных металлов технологические схемы переработки руд совершенствуются и дорабатываются в связи с изменением минерального состава руд с глубиной и вовлечением в эксплуатацию новых технологических разновидностей.

Исследование технологических свойств руд сопровождается изучением их минерального и химического состава, текстур и структур. Детальное изучение текстур руд позволяет решить вопрос о возможности и целесообразности их предварительного обогащения в тяжелых суспензиях. Изучение структурных особенностей руд, размеров зерен полезных минералов, характера их взаимных границ, прорастаний позволяет решить вопрос о необходимой и достаточной степени измельчения руд перед флотацией, целесообразности организации в голове технологического процесса отсадки для улавливания примесей драгоценных металлов и т. п.

В то же время проводится детальное всестороннее исследование руд и продуктов их переработки на редкие и рассеянные элементы. Должна быть также изучена возможность использования оборотных вод и отходов, получаемых при рекомендуемой технологической схеме переработки минерального сырья, даны рекомендации по очистке промышленных стоков и охране окружающей среды.

Изучение руд на попутные компоненты

Все медные, свинцово-цинковые и никелевые руды являются комплексными и содержат примеси благородных металлов и других попутных компонентов, которые повышают ценность руд. Большинство из них при обогащении руд извлекается в товарные концентраты основных металлов и другие продукты обогащения, из которых они могут быть получены в процессе последующего металлургического передела.

Золото содержится в рудах в различной форме: в основном связано с халькопиритом и пиритом, но встречается и в свободном состоянии. До 50 % свободного золота выделяется в голове

технологического процесса гравитационным обогащением. Остальное его количество накапливается в медном, свинцовом, цинковом, никелевом, медно-никелевом и пиритном концентратах. Суммарное извлечение золота изменяется в широких пределах, достигая 80 %.

Серебро накапливается в сульфидах меди, галените, блеклых рудах и пентландите, а также присутствует в самородном состоянии и в виде сульфосолей и теллуридов. Оно сосредоточивается главным образом в основных товарных концентратах и извлекается при рафинировании черновых металлов — меди, свинца и никеля.

Значительное количество золота и серебра при обогащении руд колчеданного типа переходит в пиритные концентраты, из которых извлечение их возможно с помощью сложных гидрохимических схем, включающих низкотемпературный обжиг концентратов и выщелачивание металлов из огарков.

Платиноиды, концентрирующиеся преимущественно в медно-никелевых рудах, отмечаются в основном в самородном состоянии и в виде собственных минералов. Часть их поступает в самостоятельный гравитационный концентрат благородных металлов, часть в медный и медно-никелевый концентраты, из которых они извлекаются при рафинировании черновых металлов.

Рений в виде изоморфной примеси присутствует в минералах меди из месторождений типа медистых песчаников и сланцев и в молибдените из медно-порфировых месторождений. При переработке медных и молибденовых концентратов (промпродуктов) получают перренат аммония.

Кадмий концентрируется в виде тончайшей механической или изоморфной примеси в сфалерите и халькопирите и извлекается из пылей металлургических заводов, вельц-окислов цинкового производства и медно-кадмиевых кеков.

Висмут самородный или в составе сульфосолей тесно ассоциирует с галенитом и минералами меди и извлекается при рафинировании свинца.

Сурьма, мышьяк и ртуть, тесно связанные в медных и свинцово-цинковых рудах с блеклыми рудами и другими сульфосолями, являются вредными примесями. В медно-никелевых рудах основная часть мышьяка входит в состав арсенопирита.

Индий, таллий и галлий содержатся в сфалерите, галените, халькопирите, пирите и других сульфидах, накапливаются в основном в цинковых концентратах и извлекаются из пылей, кеков, вельц-окислов и других полупродуктов цинкового и сернокислотного производства.

Селен и теллур присутствуют в качестве примеси во всех сульфидах, поступают в концентраты основных металлов и пиритный, получаются из пылей обжиговых печей, сернокислотных и медеэлектролитных шламов и других продуктов.

Германий в рудах цветных металлов отмечается в основном в качестве примеси в силикатах, которые теряются с хвостами

флотации. Часть его, связаная со сфалеритом и сульфидами меди, может извлекаться в цинковом и медном производстве из пылей, кеков, ретортных остатков и других продуктов металлургического передела.

В соответствии с требованиями ГКЗ СССР [46] содержания попутных компонентов определяются в групповых геологических пробах, концентратах и продуктах обогащения. Групповые пробы составляются из навесок, отбираемых из рядовых проб пропорционально их длине, и характеризуют отдельные типы руд или части мощных рудных тел. Обычно в групповую пробу включают до 10 рядовых проб. Порядок объединения рядовых проб в групповые, их размещение и общее число должны обеспечить равномерное опробование основных разновидностей руд на попутные компоненты и вредные примеси, а также позволить выяснить закономерности изменения их содержаний по простиранию и падению рудных тел. При изучении руд на ценные попутные компоненты используются также анализы мономинеральных фракций, отбираются специальные (малые) технологические пробы, анализируются продукты обогащения. В результате составляется баланс распределения ценных попутных компонентов по различным минеральным типам руд, концентратам, другим продуктам обогащения, решается вопрос об экономической целесообразности и рациональных способах их извлечения.

Минимальные содержания рассеянных элементов в минералах-носителях, технологически допустимые для их извлечения, по данным А. М. Сечевицы и др., ориентировочно составляют (в г/т): рения 2—3 (в молибдените, халькопирите, борните); кадмия 30, индия 1 (в сфалерите, галените, халькопирите); висмута 15 (в галените, халькопирите); селена 5—7, теллура 3—4 (в халькопирите, сфалерите, пирите); таллия 1—3 (в галените, сфалерите); германия 1 (в халькопирите).

Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождений

Изучение **инженерно-геологических условий,** в которых находится разведываемое месторождение, имеет важное значение для правильной геолого-экономической оценки месторождения и проектирования горнодобывающего предприятия. Эти исследования проводятся специализированными организациями в соответствии с Инструкцией по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке.

В результате инженерно-геологических исследований должны быть получены материалы по прогнозной оценке устойчивости горных выработок и расчету основных параметров карьеров.

Основными факторами, влияющими на инженерно-геологические условия разработки месторождений открытым способом, являются следующие:

1) физико-географические особенности района, определяемые климатом, рельефом, расположением открытых водоемов по отношению к месторождению; необходимо получение данных о количестве атмосферных осадков, колебаниях температуры, наличии мерзлоты, возможности развития селевых потоков, оползней, снежных лавин;

2) геологическое строение района и месторождения — литолого-петрографический и минеральный состав горных пород, их фациальная изменчивость, условия залегания (глубина, углы падения), трещиноватость и тектоническая нарушенность, физико-механические свойства руд и вмещающих пород в естественном и водонасыщенном состоянии, их текстурные особенности, закарстованность, разрушенность в зоне выветривания; в районах распространения вечной мерзлоты следует установить температурный режим пород, положение верхней и нижней границ мерзлотной толщи, контуры и глубины развития таликов, характер изменения физических свойств пород при оттаивании, глубину слоя сезонного оттаивания и промерзания;

3) гидрогеологическое строение района и месторождения — условия обводненности месторождения, наличие источников питьевого и технического водоснабжения будущего горнорудного предприятия;

4) горнотехнические факторы — возможный способ разработки месторождения, мощность и характер вскрыши, высота уступов и углы их откосов, глубина карьера, размещение отвалов, способ транспортировки руды и т. п.

При подземной отработке месторождений также учитываются все перечисленные факторы, кроме того, необходимо решение специфических вопросов: выбор наиболее благоприятных мест для заложения капитальных горных выработок, способа их проходки, рациональных систем отработки рудных тел, границ зоны обрушения, размера и расположения целиков; определение характера горного давления и сдвижения пород; разработка мероприятий по предотвращению обвалов, катастрофических прорывов грунтовых вод, самовозгорания сплошных сернистых руд, загазованности горных выработок и т. п.

Гидрогеологическими исследованиями должны быть изучены основные водоносные горизонты, которые могут влиять на обводненность месторождения, выявлены наиболее обводненные участки и зоны. Следует установить мощность каждого водоносного горизонта, его литологический состав, типы коллекторов, условия питания, взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, положение уровней подземных вод и другие параметры. Должны быть определены возможные водопритоки в эксплуатационные горные выработки и разработаны рекомендации по защите их от подземных вод. Необходимо изучить химический состав и бактериологическое состояние вод, участвующих в обводненности месторождения, их агрессивность по отношению к бетону, металлам, полимерам, содержание в них полезных и

вредных примесей; оценить возможность использования этих вод для водоснабжения и влияние сброса рудничных вод на окружающую среду.

Должна быть дана оценка возможных источников хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, обеспечивающих потребности будущего горнодобывающего предприятия.

При наличии в районе месторождения действующих шахт или карьеров, расположенных в аналогичных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, для характеристики разведываемой площади следует использовать данные изучения этих объектов.

Для месторождений, где установлена природная газоносность отложений (метан, сероводород и др.), должны быть исследованы закономерности изменения содержания и состава газов по площади и с глубиной. Необходимо определить влияющие на здоровье человека факторы (пневмокониозоопасность, повышенная радиоактивность, геотермические условия и др.).

Гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения.

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

ТРЕБОВАНИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МЕСТОРОЖДЕНИЯМ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Запасы цветных металлов по степени их изученности в соответствии с Классификацией ГКЗ СССР подразделяются на разведанные — категорий А, В, C_1 — и предварительно оцененные — категории C_2.

Для отнесения запасов к категории А должны быть удовлетворены следующие требования:

1) установлены размеры, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, изучены характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения, выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки внутри тел полезного ископаемого, при наличии разрывных нарушений — их положение и амплитуды смещения;

2) определены природные разновидности, выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлены их состав, свойства, распределение ценных и вредных компонентов по минеральным формам; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями показателям;

3) технологические свойства полезного ископаемого изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы его переработки с комплексным извлечением компонентов, имеющих промышленное значение;

4) гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия исследованы с детальностью, позволяющей получить исходные данные для составления проекта разработки месторождения;

5) контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам или горным выработкам.

Запасы категории А при детальной разведке месторождений цветных металлов подсчитываются только на месторождениях 1-й группы в блоках, оконтуренных скважинами и горными выработками без экстраполяции. На штокверковых месторождениях меди к категории А могут быть отнесены блоки, в пределах которых

коэффициент рудоносности близок к единице, установлены пространственное положение, форма и размеры участков кондиционных руд, подлежащих селективной выемке. На разрабатываемых месторождениях запасы категории А подсчитываются по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных работ.

Запасы категории В подсчитываются на месторождениях (в блоках), для которых соблюдены следующие требования:

1) установлены размеры, основные особенности и изменчивость формы, внутреннего строения и условий залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение внутренних безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений выяснены их положение и амплитуды смещения, охарактеризована возможная степень развития малоамплитудных разрывных нарушений;

2) определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественного соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями показателям;

3) технологические свойства полезного ископаемого изучены в степени, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное его использование с извлечением компонентов, имеющих промышленное значение;

4) гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей качественно и количественно охарактеризовать их основные показатели и влияние на вскрытие и разработку месторождения;

5) контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам или горным выработкам с включением (при выдержанных мощности тел и качестве полезного ископаемого) ограниченной зоны экстраполяции, обоснованной геологическими критериями, данными геофизических и геохимических исследований.

Запасы категории В при детальной разведке месторождений цветных металлов подсчитываются только на месторождениях 1-й и 2-й групп. Контур запасов категории В должен быть проведен по разведочным выработкам без экстраполяции, а основные горно-геологические характеристики рудных тел и качество руд в пределах этого контура установлены по достаточному объему представительных данных.

На штокверковых месторождениях, где объем руды определяется с использованием коэффициента рудоносности, к категории В

могут быть отнесены блоки, в пределах которых коэффициент рудоносности выше, чем средний по месторождению, выявлены изменчивость рудонасыщенности в плане и на глубину, закономерности пространственного положения, типичные формы и характерные размеры участков кондиционных руд в степени, позволяющей дать оценку возможности их селективной выемки.

На разрабатываемых месторождениях запасы категории В подсчитываются по данным эксплуатационной разведки и горно-подготовительных работ.

Для подсчета запасов категории C_1 должны быть выполнены следующие требования:

1) выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения, оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, а для пластовых месторождений установлено также наличие площадей интенсивного развития малоамплитудных тектонических нарушений;

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

3) технологические свойства полезного ископаемого изучены в степени, достаточной для обоснования промышленной ценности разведанных запасов;

4) гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия выявлены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;

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

К категории C_1 относятся запасы на участках месторождений, в пределах которых выдержана принятая для данной категории сеть скважин и горных выработок, а полученная при этом информация подтверждена на разрабатываемых месторождениях данными эксплуатации, а на новых — результатами исследований на участках детализации.

На штокверковых месторождениях изученность основных особенностей внутреннего строения должна обеспечить выяснение рудонасыщенности и закономерностей распределения участков кондиционных руд.

Контуры запасов категории C_1 определяются, как правило, по разведочным выработкам, а для наиболее выдержанных и круп-

ных рудных тел — геологически обоснованной ограниченной экстраполяцией.

Запасы категории C_2 подсчитываются при условии соблюдения следующих требований:

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

2) качество и технологические свойства полезного ископаемого установлены по результатам исследований единичных лабораторных проб либо оценены по аналогии с более изученными участками того же или другого подобного месторождения;

3) гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия оценены по имеющимся для других участков месторождения данным, наблюдениям в разведочных выработках и по аналогии с известными в районе месторождениями;

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

Запасы категории C_2 подсчитываются путем экстраполяции по простиранию и падению от контура разведанных запасов более высоких категорий на основе геофизических работ, геолого-структурных построений и единичных рудных пересечений, подтверждающих эту экстраполяцию; по самостоятельным рудным телам запасы данной категории подсчитываются, исходя из совокупности рудных пересечений, выявленных в обнажениях, горных выработках и скважинах с учетом данных геофизических, геохимических исследований и геологических построений.

При определении контуров подсчета запасов категории C_2 следует учитывать условия залегания рудных тел, закономерности изменения их размеров, формы и мощности, состава руд и содержаний полезных компонентов (меди, свинца, цинка, никеля, кобальта).

На месторождениях 3-й группы из общего контура запасов категории C_2 должны быть выделены запасы, учитываемые в установленном Классификацией соотношении различных категорий. Возможность использования этих запасов для проектирования следует обосновать аналогией геологических особенностей залегания их и запасов более высоких категорий и подтвердить результатами перевода запасов категории C_2 в более высокие категории на представительных, детально разведанных участках месторождения.

Запасы руд цветных металлов подсчитываются раздельно по выделенным промышленным (технологическим) типам руд и учи-

тываются по наличию их в недрах без учета потерь и разубоживания при добыче, обогащении и переработке. По народнохозяйственному значению они подразделяются на две группы:

1) балансовые, вовлечение в эксплуатацию которых согласно утвержденным кондициям экономически целесообразно при существующей либо осваиваемой промышленностью прогрессивной технике и технологии добычи и переработки сырья с соблюдением требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды;

2) забалансовые, разработка которых согласно утвержденным кондициям в настоящее время экономически нецелесообразна или технически и технологически невозможна, но которые могут быть в дальнейшем переведены в балансовые.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в том случае, если в ТЭО кондиций доказана возможность их сохранения в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутной добычи, складирования и сохранения для использования в будущем.

При подсчете забалансовых запасов проводится их подразделение в зависимости от причин отнесения запасов к забалансовым — экономических, технологических, гидрогеологических или горнотехнических.

Необходимая степень изученности месторождений, подготовленных для промышленного освоения, определяется в зависимости от их принадлежности к той или иной группе Классификации ГКЗ СССР по сложности геологического строения и распределения полезных компонентов, а также от экономических факторов — затрат средств и времени, требуемых на производство геологоразведочных работ.

Разведанные месторождения цветных металлов считаются подготовленными для промышленного освоения при условии утверждения в ГКЗ СССР балансовых запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых, а также содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение. При этом соотношение запасов различных категорий должно соответствовать требуемому при проектировании горнодобывающих предприятий (табл. 50).

Запасы категории C_2 на месторождениях 1, 2 и 3-й групп утверждаются в количестве, полученном в результате разведки. При этом ГКЗ СССР устанавливает возможность полного или частичного использования запасов этой категории при проектировании горнодобывающего предприятия.

На разрабатываемых месторождениях (участках) соотношение категорий утвержденных балансовых запасов, принимаемое при проектировании либо реконструкции предприятия по добыче полезных ископаемых, либо дальнейшего развития горно-эксплуатационных работ, может быть меньше указанного (см. табл. 50) и устанавливается соответствующим горнодобывающим министерством на основе опыта разработки месторождения.

Таблица 50

Соотношение запасов различных категорий, %, требуемое для проектирования горнодобывающих предприятий

Категории запасов	Группа месторождений			
	1-я	2-я	3-я	4-я
А + В	30	20	—	—
В том числе А не менее	10	—	—	—
C_1	70	80	80	50
C_2	—	—	20	50

На подготовленных к промышленному освоению месторождениях вещественный состав и технологические свойства руд должны быть изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования технологической схемы их комплексной переработки, а гидрогеологические, инженерно-геологические, горнотехнические и другие природные условия — с детальностью, позволяющей получить исходные данные, необходимые для составления проекта разработки месторождения.

ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Общие положения геолого-экономической оценки месторождений

Основная задача геологоразведочных работ — выявление и разведка месторождений полезных ископаемых, пригодных для промышленного использования. При этом под «месторождением» понимается «такое природное скопление минерального сырья, которое технически возможно, а экономически целесообразно разрабатывать на данном уровне развития производительных сил» [16], т. е. само понятие «месторождение» является геолого-экономическим и предопределяет необходимость обязательного выполнения экономических исследований на всех стадиях геологоразведочного процесса. Детальность, обоснованность, а соответственно и объем этих исследований возрастают от стадии к стадии геологоразведочных работ по мере накопления фактических данных и изучения месторождения.

Геолого-экономическая оценка, задачи которой — выяснение возможного народнохозяйственного значения обнаруженного объекта, определение его запасов (в натуральном и денежном выражении) и экономического эффекта от их использования, — является сравнительной: основные геолого-экономические показатели оцениваемого объекта сравниваются с таковыми известных месторождений, получивших промышленную оценку, и других новых рудопроявлений с целью решения вопросов о целесообразно-

сти постановки более детальных исследований на объекте, последовательности проведения разведочных работ на разных рудопроявлениях и месторождениях, очередности освоения месторождений, промышленная ценность которых доказана.

При геолого-экономической оценке месторождений и рудопроявлений учитывается четыре группы факторов, взаимосвязанных между собой: географо-экономических, геологических, горнотехнических и экономических.

В группу географо-экономических факторов могут быть включены такие, как географическое положение оцениваемого объекта, климат, рельеф, освоенность района, возможности транспорта и энергетики, состояние технического и питьевого водоснабжения, наличие строительных материалов, промышленных предприятий, рабочей силы и т. п.

К геологическим факторам относятся следующие: особенности геологического строения района и месторождения; условия и глубина залегания рудных тел, их морфология, размеры, внутреннее строение; вещественный и минеральный состав руд, наличие ценных попутных компонентов; количество и качество запасов и перспективы их увеличения.

Горнотехнические факторы оценки определяются инженерно-геологическими условиями залегания месторождения и технологическими свойствами руд, обусловливающими выбор способа отработки месторождения (открытого или подземного), возможной производительности горно-обогатительного предприятия, необходимого горнопроходческого и бурового оборудования, транспортных средств, рациональной схемы технологической переработки руд, технических средств и материалов для их обогащения.

Экономические факторы включают данные о себестоимости добычи и переработки руд, получения металлов, о размерах необходимых капиталовложений и сроках их окупаемости, рентабельности работы горно-обогатительного предприятия, потребности в разведываемом виде минерального сырья народного хозяйства страны или изучаемого района.

Различают три вида геолого-экономических оценок месторождений, соответствующих степени их изученности и принятой стадийности геологоразведочного процесса: первоначальная, предварительная и предпроектная, осуществляемые на завершающих этапах стадий поисково-оценочных работ, предварительной разведки и детальной разведки.

Геолого-экономическая оценка месторождений на стадии поисково-оценочных работ

По результатам поисково-оценочных работ производится первоначальная геолого-экономическая оценка обнаруженных месторождений и рудопроявлений, выполняемая на основании данных о геолого-промышленном типе выявленного объекта, возможных контурах распространения рудной минерализа-

ции в плане и на глубину, содержании основных и ценных попутных компонентов в рудах. Указанные ориентировочные параметры объекта сравниваются с оценочными (браковочными) кондициями, скорректированными применительно к конкретным геологическим особенностям исследуемого объекта и географо-экономическим условиям района.

Если установлено, что максимально возможные параметры объекта (запасы категории C_2 и прогнозные ресурсы, а также содержания металлов) удовлетворяют минимальным требованиям оценочных кондиций, то делается вывод о целесообразности его дальнейшего изучения, т. е. первоначальная геолого-экономическая оценка рудопроявлений неоднозначна. В процессе дальнейших работ объект может получить положительную промышленную оценку либо может быть забракован. Результаты ориентировочных геолого-экономических расчетов по всем положительно оцененным на стадии поисково-оценочных работ объектам излагаются в виде кратких технико-экономических соображений (ТЭС), которые утверждаются производственными геологическими объединениями совместно с отчетом о результатах поисково-оценочных работ и служат основанием для постановки предварительной разведки объекта. Сроки и очередность проведения предварительной разведки положительно оцененных объектов определяются производственными планами геологоразведочных работ.

Браковочные кондиции составляются на основании фактических данных по разведанным и эксплуатируемым месторождениям различных геолого-промышленных типов. Они рассчитываются исходя из принципа равенства ценности, извлекаемой из 1 т руды, и эксплуатационных затрат на получение конечной товарной продукции, т. е. бесприбыльно-безубыточной деятельности предприятия.

Браковочные кондиции устанавливаются для нормализованных, типичных для данного геолого-промышленного типа месторождений географо-экономических и горно-геологических условий, которые предусматривают приведение стоимостных показателей деятельности горно-обогатительных предприятий к условиям оплаты 1-го пояса (г. Москва), к действующим оптовым ценам на товарную продукцию, материалы, энергоносители, достигнутым показателям потерь, разубоживания, извлечения полезных компонентов и др. Браковочные кондиции учитывают способ разработки (открытый или подземный), нормализованные коэффициенты вскрыши (0,0) и рудоносности (0,7) для открытых работ, мощность рудного тела (1,2 м), крепость пород и руд (10 по шкале М. М. Протодьяконова), угол падения рудных тел (45°), глубину их залегания (до 200 м).

Отклонения реальных условий нахождения и природных геологических особенностей оцениваемых объектов от нормализованных учитываются с помощью поправочных коэффициентов [30]. Содержания основных попутных компонентов пересчитываются с помощью переводных коэффициентов в условный металл.

Браковочные кондиции устанавливаются по минимальному со-

держанию металла и рассчитываются отдельно для объектов с различными запасами руды (с разной производительностью горнодобывающих предприятий).

ТЭС составляются на основе оцененных на стадии поисково-оценочных работ запасов категории C_2 и прогнозных ресурсов категории P_1 с использованием для ориентировочного определения основных оценочных параметров (себестоимости разведки, добычи, переработки руды и др.) браковочных кондиций и укрупненных расчетов, выполненных с учетом технико-экономических показателей отработки аналогичных разведанных и разрабатываемых месторождений того же геолого-промышленного типа, скорректированных с учетом географо-экономических условий нахождения исследуемых объектов, их конкретных геологических особенностей и горнотехнических условий залегания.

В ТЭС должны быть отражены следующие данные:

1) географо-экономические условия района месторождения;

2) 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 категории P_2;

3) 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;

4) группа месторождения по сложности разведки; гидрогеологические и горнотехнические условия нахождения;

5) данные, определяющие предполагаемые способы добычи и переработки руд и возможное извлечение полезных компонентов;

6) сведения о методике, объемах и затратах на поисково-оценочные работы;

7) запасы категории C_2 и прогнозные ресурсы категории 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;

8) выбор и характеристика эксплуатируемых или детально разведанных месторождений-аналогов, принятых в качестве эталонов при определении технико-экономических показателей оценки исследуемого объекта (себестоимости добычи и переработки руды, необходимых капиталовложений в строительство горно-обогатительного предприятия, себестоимости товарной продукции, показателей возможной рентабельности отработки месторождения и окупаемости капиталовложений);

9) 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 изучаемого объекта. Учитывая условность полученных технико-экономических показателей освоения месторождения, они используются только для ранжирования первоочередности вовлечения в предварительную разведку того или иного объекта. В заключении 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, вскрывающих и оконтуривающих оруденение, а также графические приложения, иллюстрирующие горнотехнические условия отработки месторождения.

Геолого-экономическая оценка месторождений на стадиях предварительной и детальной разведки

На завершающих этапах стадии предварительной разведки при получении необходимых и достаточных данных для однозначной оценки промышленного значения выявленного объекта, который может быть либо признан промышленным, заслуживающим детальной разведки и последующего освоения, либо забракован, осуществляется его предварительная геолого-экономическая оценка. Для обоснования предварительной оценки месторождения выполняется многовариантный подсчет его запасов по категориям C_1 и C_2, на основании которого составляются технико-экономический доклад (ТЭД) и временные кондиции, утверждаемые для месторождений цветных металлов Минцветметом СССР. Положительный ТЭД и установленные временные кондиции используются для текущего планирования приростов запасов цветных металлов и оперативных подсчетов запасов месторождений, утверждаемых ЦКЗ Мингео СССР. Для объектов, имеющих важное народнохозяйственное значение (либо в спорных случаях), ТЭД и временные кондиции рассматриваются и утверждаются ГКЗ СССР. ТЭДы и временные кондиции составляются производственными геологическими объединениями совместно со специализированными научно-исследовательскими или проектными организациями с помощью прямых или укрупненных технико-экономических расчетов с использованием данных по аналогичным разведанным или эксплуатируемым месторождениям. Положительно оцененные объекты зачисляются в резерв или подвергаются дальнейшим исследованиям с непосредственным (без перерыва во времени) переходом от их предварительной разведки к детальной. По сложным объектам (3-я группа), детальная разведка которых в основном производится одновременно с их эксплуатацией, подсчет запасов представляется на утверждение ГКЗ СССР, после чего принимается решение об их освоении разведочно-эксплуатационным предприятием. Соответственно и требо-

вания к обоснованию ТЭДов и кондиций для этих объектов должны быть повышенными. При необходимости на месторождениях 3-й группы проводится небольшой объем дополнительных работ с целью получения всех данных для проектирования разведочно-эксплуатационного предприятия.

По завершении детальной разведки месторождений на основании кондиций, предварительно утверждаемых ГКЗ СССР, и окончательных (генеральных) подсчетов запасов, требования к содержанию и оформлению которых регламентируются ГКЗ СССР, осуществляется их предпроектная оценка.

При доразведке эксплуатируемых месторождений оперативные подсчеты запасов выполняются на основании кондиций, ранее утвержденных ГКЗ СССР. Если при доразведке устанавливается существенное изменение запасов или горнотехнических условий отработки месторождений, последние переоцениваются с составлением новых кондиций и полным пересчетом запасов, которые рассматриваются и утверждаются ГКЗ СССР.

Определение основных параметров геолого-экономической оценки месторождений для составления ТЭДов (производительности горнорудного предприятия по руде и металлу, себестоимости добычи и переработки руд, получения концентратов и готовых металлов, необходимых размеров капиталовложений, рентабельности работы предприятия и др.) производится на основании кондиций, предусматривающих в соответствии с требованиями ГКЗ СССР следующие основные показатели [13]: 1) минимальное промышленное содержание полезных компонентов в подсчетном блоке; 2) бортовое содержание полезных компонентов в краевой пробе; 3) минимальная мощность тел полезных ископаемых, включаемая в подсчет балансовых запасов; 4) максимально допустимая мощность прослоев пород и некондиционных руд, включаемых в контуры рудных тел; 5) возможная глубина отработки месторождения открытым способом; средний и предельный коэффициенты вскрыши; 6) допустимый коэффициент рудоносности; 7) максимально допустимое содержание вредных примесей в подсчетном блоке и в пробе при оконтуривании балансовых запасов; 8) требования к выделению при подсчете запасов типов и сортов минерального сырья; 9) минимальное содержание попутных компонентов; 10) переводные коэффициенты для приведения попутных компонентов к основному; 11) минимальные запасы изолированных рудных тел для отнесения их к балансовым.

В отдельных случаях с учетом конкретных геологических и инженерно-геологических особенностей месторождений могут лимитироваться дополнительные показатели кондиций, в то же время некоторые из перечисленных могут не предусматриваться.

Минимальное промышленное содержание полезных компонентов в подсчетном блоке определяется из условия окупаемости всех затрат на добычу и переработку руды: $C = 100З/Ц \cdot И \cdot Р$, где C — минимальное промышленное содержание полезного компонента (или приведенной суммы полезных ком-

понентов), %; З — все затраты, связанные с добычей руд, их переработкой и получением товарной продукции, руб.; Ц — цена 1 т полезного компонента в товарной продукции, руб.; И — коэффициент извлечения полезного компонента в товарную продукцию; Р — коэффициент, учитывающий разубоживание руд при их добыче.

Минимальное промышленное содержание рассчитывается в целом для месторождения с учетом затрат на проходку капитальных и подготовительных горных выработок, добычу и переработку руд, отчислений на амортизацию оборудования и относится к отдельным подсчетным блокам. Для блоков с содержанием металла несколько ниже минимального промышленного необходимо производить дополнительные расчеты с учетом только прямых затрат на добычу и переработку руд, что позволяет решить вопрос о том, целесообразно ли их отрабатывать или следует оставить в недрах. Так как практически все месторождения цветных металлов являются комплексными, минимальное промышленное содержание в рудах по подсчетным блокам обычно устанавливается не в натуральном, а в условном металле с учетом извлекаемых попутных компонентов.

Затраты на добычу 1 т руды определяются в зависимости от производительности горнодобывающего предприятия и принимаемой системы (или соотношения нескольких систем) отработки рудных тел, а затраты на переработку — от технологических свойств руд и технологической схемы обогащения. Если расчет ведется на конечный продукт, то необходимо учитывать также и затраты на переработку концентратов и другие операции, связанные с получением готового металла. Кроме того, в затратах на добычу и переработку руд учитываются также транспортные расходы и отчисления на геологоразведочные работы, устанавливаемые Минцветметом СССР.

Цена полезного компонента (компонентов) принимается исходя из действующих оптовых цен на руды, концентраты и металлы, если она особо не оговорена специальными указаниями государственных плановых органов. Сквозной коэффициент извлечения полезного компонента в товарную продукцию определяется с учетом потерь руды в недрах, извлечения полезного компонента при обогащении руд и металлургическом переделе концентратов. Разубоживание руд зависит от морфологии рудных тел и применяемой системы их отработки.

Бортовое содержание полезных компонентов в краевой пробе устанавливается в случаях отсутствия четких геологических границ рудных тел, что характерно для всех штокверковых месторождений меди, свинца и цинка, а также прожилково-вкрапленных или вкрапленно-прожилковых (слоистых) руд разных типов. Бортовое содержание условного металла, заменяющее естественные геологические границы рудных тел, подбирается способом вариантов с учетом необходимости максимально возможного сохранения сплошности рудных тел и в то же время

включения в их контур минимального объема безрудных или слабоминерализованных пород. В общем случае при переходе к варианту с более низким содержанием металла себестоимость его в приращиваемом контуре не должна превышать оптовой цены.

Бортовое содержание металлов для различных типов месторождений варьирует в значительных пределах: 0,3—0,5 % для медно-порфировых месторождений; 0,4—0,7 % для медно-никелевых месторождений и медистых песчаников и сланцев; 0,7—1,0 % для месторождений меди, свинца и цинка колчеданного типа, а также для скарновых и жильных. При подборе различных вариантов оконтуривания рудных тел можно ориентироваться на эти цифры, имея при этом в виду, чтобы выбранный вариант попал «в вилку» между вариантами с более высоким и более низким бортовым содержанием металла.

Минимальная мощность тел полезных ископаемых, включаемая в подсчет балансовых запасов, зависит от элементов залегания рудных тел, системы их разработки и применяемых технических средств. Как правило, для пологозалегающих рудных тел, отрабатываемых подземным способом, она составляет 1,5—2,0 м, для крутопадающих 1,0—2,0 м; при открытых работах принимается равной 3—5 м, иногда — при большой высоте эксплуатационных уступов — до 10 м.

Максимально допустимая мощность прослоев пород и некондиционных руд, включаемых в контуры рудных тел, нередко определяется при решении вопроса о выборе рационального бортового содержания металла для оконтуривания рудных тел. В общем случае при отработке месторождений подземным способом она зависит от мощности рудных тел и составляет 1—2 м для маломощных рудных тел, 2—3 м при их мощности до 10 м и 3—5 м при мощности рудных тел больше 10 м. При открытых работах она обычно варьирует от 5 до 10 м в зависимости как от мощности рудных тел, так и от принимаемой высоты эксплуатационных уступов карьера.

Возможная глубина отработки месторождения открытым способом, средний и предельный коэффициенты вскрыши устанавливаются методом вариантов исходя из сопоставления затрат на добычу руды открытым и подземным способами до определенной глубины. При равенстве затрат предпочтение отдается открытому способу.

Допустимый коэффициент рудоносности определяется с учетом прерывистости оруденения и необходимости компенсации дополнительных затрат на селективную добычу кондиционных руд.

Максимально допустимое содержание вредных примесей в подсчетном блоке и в пробе при оконтуривании балансовых запасов. Эти параметры для месторождений цветных металлов лимитируются сравнительно редко, так как в процессе обогащения руд обычно удается избавиться от нежелательных компонентов.

Требования к выделению при подсчете запасов типов и сортов минерального сырья обусловливаются необходимостью их раздельной добычи и переработки. На месторождениях меди, свинца и цинка обычно выделяются окисленные, смешанные и сульфидные разности руд. На медноколчеданных месторождениях, кроме того, различают собственно медные, медно-цинковые, цинковые и серноколчеданные, а на месторождениях свинца и цинка — существенно свинцовые, цинковые и свинцово-цинковые руды. В отдельных случаях на медноколчеданных и медно-никелевых месторождениях выделяются руды, пригодные для непосредственной плавки в шахтных или электрических печах. При невозможности геометризации различных типов и сортов руд по редкой сети разведочных выработок соотношение их в запасах устанавливается статистически.

Минимальное содержание попутных компонентов определяется величиной дополнительных затрат, необходимых для организации их извлечения. В некоторых случаях, когда попутные компоненты извлекаются в концентраты и шламы металлургического производства без дополнительных затрат, а стоимость их получения из этих продуктов ничтожная (золото, серебро, платиноиды), попутные компоненты учитываются при любых содержаниях в рудах.

Переводные коэффициенты для приведения попутных компонентов к основному принимаются с учетом соотношения цен на основной металл и попутные компоненты и извлечения их в концентраты. В общем случае эта зависимость такова: $K_п = Ц_п \cdot И_п / Ц_м \cdot И_м$, где $K_п$ — переводной коэффициент попутного компонента в условный металл; $Ц_п$, $Ц_м$ — цены соответственно попутных компонентов и основного металла; $И_п$ и $И_м$ — извлечение в концентраты попутного компонента и основного металла.

Если содержания попутных компонентов ниже их содержаний в хвостах обогатительных фабрик, то при переводе в условный металл они не принимаются во внимание.

При расчете минимальных запасов изолированных рудных тел для отнесения их к балансовым учитывается стоимость проходки дополнительных подходных выработок.

Производительность горнорудных предприятий по руде и металлу выбирается в зависимости от запасов месторождений, горнотехнических условий их эксплуатации и нормативных сроков обеспеченности работ, установленных Госпланом СССР: для небольших предприятий примерно 10—15 лет, средних — 15—25 лет, крупных — 25—40 лет и очень крупных — свыше 40 лет.

Размер капиталовложений в строительство горнодобывающего предприятия, в первую очередь, обусловлен его производительностью, горно-геологическими особенностями месторождения, а также географо-экономическими условиями района. Срок оку-

паемости капиталовложений и рентабельность отработки месторождения определяются из соотношения общих затрат на строительство, добычу и переработку руды и ценности получаемой продукции.

Требования к материалам ТЭДов и кондиций, их содержанию и оформлению устанавливаются ГКЗ СССР.

ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ

Подсчет запасов основных и ценных попутных компонентов

Подсчет запасов подводит итоги всех выполненных на месторождении и в прилегающем районе геологоразведочных работ, отражает их достоинства и недостатки. Достоверность и обоснованность подсчета запасов определяются полнотой и качеством всех исходных данных, полученных в процессе геологоразведочных, научно-исследовательских и проектно-изыскательных работ, выполнением его с соблюдением всех общепринятых правил и приемов, а также требований ГКЗ СССР.

Запасы подсчитываются на основании кондиций, утверждаемых в установленном порядке. Кондиции должны соответствовать природным особенностям месторождений. Количество и качество запасов, принятых в качестве обоснования кондиций, не должны быть существенно выше, чем полученные по подсчету. В случае резких расхождений — если фактические запасы составляют менее 70—80 % от учтенных в кондициях — последние подлежат специальной проверке и при необходимости пересоставлению и переутверждению. Очень большая доля забалансовых запасов, подсчитанных на месторождении по утвержденным кондициям, или наличие большого количества внутрирудных некондиционных прослоев пустых и слабоминерализованных пород — косвенное свидетельство несоответствия кондиций природным особенностям месторождений. В первом случае следует рассмотреть вопрос о возможности применения более совершенной (более экономичной) техники для добычи и переработки руды во избежание выборочной отработки месторождений; во втором — необходима проверка кондиционного лимита, определяющего максимально допустимую мощность внутрирудных некондиционных прослоев.

Подсчет запасов начинается с выделения по общепринятой методике кондиционных интервалов по разведочным выработкам; их пространственная увязка производится с максимальным учетом геологических и геофизических данных. Оконтуривание рудных тел выполняется на подсчетных разрезах, планах, проекциях рудных тел на горизонтальную или вертикальную плоскость. Общий контур рудного тела проводится по линии естественного выклинивания или по другим геологическим особенностям рудного тела путем интерполяции между рудными и безрудными выработками или с использованием приемов экстраполяции. Содержание металла

в краевых рудных пересечениях при этом, как правило, не должно быть существенно ниже минимального промышленного.

Способ подсчета запасов месторождения должен соответствовать его природным геологическим особенностям и принятой системе разведки. На месторождениях цветных металлов наиболее часто практически используются способы вертикальных и горизонтальных разрезов, геологических и эксплуатационных блоков. Первые два способа обычно применяются для подсчета запасов месторождений с рудными телами большой мощности и сложным внутренним строением. Способом геологических блоков наиболее часто подсчитываются запасы плоских пласто-, линзо- и жилообразных тел. Способ эксплуатационных блоков, как правило, используется только на эксплуатируемых месторождениях, обычно в комбинации с другими способами.

На месторождениях штокверкового типа при подсчете запасов часто применяются линейные или площадные коэффициенты рудоносности.

При блокировке запасов следует следить за однородностью подсчетных блоков по степени разведанности, колебаниям мощностей рудных тел, качеству руд (по типам и сортам) и содержанию металла. Подсчетные блоки по возможности должны иметь простую конфигурацию (на вертикальных или горизонтальных проекциях) и максимально учитывать пространственное положение важнейших структурных рудоконтролирующих элементов — разрывных нарушений, мощных даек и др. Размеры блоков не должны быть чрезмерно большими по простиранию и падению рудных тел, а запасы высоких категорий в них обычно не должны превышать годовой производительности рудника; в то же время блоки не могут быть чрезмерно мелкими, опирающимися на единичные разведочные выработки. Для соблюдения этих требований подсчет запасов крупных штокверковых месторождений ведется преимущественно с разбивкой их по вертикали на 60-метровые пластины (с учетом кратности высоты 10-, 12-, 15- и 20-метровых уступов карьера). Для крутопадающих пласто-, линзо- и жилообразных рудных тел длина подсчетных блоков по падению рудных тел может превышать высоту эксплуатационных залежей не более чем в 3—4 раза.

Средние содержания металлов (и основных попутных компонентов) по рудным пересечениям и подсчетным блокам рассчитываются, как правило, способом среднего взвешенного (на длину рядовых проб или подсчетных интервалов). При необходимости проверяется наличие выдающихся по содержанию основных металлов проб, подлежащих ограничению. На месторождениях цветных металлов, кроме собственно кобальтовых, такие пробы встречаются редко. При подсчете запасов в краевых экстраполированных блоках необходимо учитывать снижение содержания металла на внешнем контуре рудных тел, принимая его не выше минимального промышленного.

При подсчете запасов способом геологических блоков истинные горизонтальные или вертикальные расчетные мощности рудных

тел следует определять с учетом не только угла падения рудного тела, но и зенитных и азимутальных искривлений разведочных скважин (по формуле П. М. Леонтовского): $m_и = m_з$ ($\cos\alpha \cdot \cos\beta + \sin\alpha \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma$), где $m_и$ — истинная мощность рудного тела; $m_з$ — мощность тела, измеренная по скважине; α — зенитный угол скважины; β — угол падения рудного тела; γ — угол между азимутом скважины и плоскостью нормального разреза рудного тела.

Горизонтальная $m_г$ и вертикальная $m_в$ мощности рудного тела определяются из следующих соотношений: $m_г = m_и/\sin\beta$ и $m_в = m_и/\cos\beta$.

Поправка на отклонение скважины от нормали к простиранию рудного тела при малых углах отклонения очень незначительная, поэтому при вычислении истинной мощности ее рекомендуется вводить только тогда, когда азимут скважины отличается от азимута перпендикулярного разреза более чем на 30° (при зенитных углах $\leqslant 5°$) или 20° (при зенитных углах $> 5°$). Аналогичные формулы следует использовать и при расчете мощности рудных тел в горных выработках, пересекающих рудное тело не по истинной мощности.

При подсчете запасов любым способом необходимо избегать «прессования» смежных рудных тел или ветвей в единый подсчетный контур. Оконтуривание и подсчет их запасов следует вести самостоятельно с раздельным определением соответствующих площадей (или мощностей) и содержаний полезных компонентов. Объемы рудных тел и отдельных подсчетных блоков вычисляются по общеизвестным геометрическим формулам.

Средняя объемная масса должна устанавливаться по данным замеров лабораторных образцов и выемкой целиков отдельно для каждого природного типа руд на достаточном фактическом материале.

Подсчет запасов ценных попутных компонентов производится в соответствии с требованиями ГКЗ СССР [46].

Запасы попутных компонентов, имеющих промышленное значение, подсчитываются в контурах подсчета запасов основных компонентов и оцениваются по категориям в соответствии со степенью их изученности, характером распределения установленных форм нахождения и технологией извлечения.

Запасы попутных компонентов, накапливающихся при обогащении в товарных концентратах или продуктах металлургического передела, подсчитываются и учитываются как в недрах, так и в извлекаемых минералах и продуктах обогащения.

Требования к материалам подсчетов запасов

Подсчеты запасов оформляются в соответствии с Инструкцией о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ СССР и ТКЗ материалов по подсчету запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых. Отчет с подсчетом запасов месторождения должен быть кратким, в то же время содержать все не-

обходимые данные для оценки геолого-экономического значения месторождения, его подготовленности для передачи в промышленное освоение и проверки правильности выполнения подсчета запасов.

В геологической части объяснительной записки приводятся все сведения, необходимые для правильного понимания геолого-тектонической позиции месторождения, его структурных особенностей, морфологии рудных тел, условий их залегания, минерального и вещественного состава руд, закономерностей их локализации, пространственного размещения и технологических свойств.

В методической части записки дается обоснование принятых методик разведки месторождения, опробования, плотности разведочной сети, содержатся фактические данные о выходе керна, списки дефектных выработок (интервалов) с указанием приемов учета данных по ним в подсчете запасов, сведения о контрольных выработках и результаты сопоставления данных по основным и контрольным выработкам, результаты контроля опробования, аналитических работ и др., характеризующие качество геологоразведочных работ.

В подсчетной части записки должно быть дано обоснование принятого способа подсчета запасов и всех расчетных операций (вычисления средних параметров по рудным пересечениям, подсчетным разрезам, планам и блокам), блокировки, категоризации запасов.

Дополнительные пояснения по конкретным блокам или рудным телам приводятся только в том случае, когда при подсчете их запасов применены иные, чем при подсчете в целом, приемы.

В объяснительной записке к подсчету запасов должна быть также приведена оценка прогнозных ресурсов месторождения по категории P_1, указано местоположение площадей с отсутствием залежей полезных ископаемых, где могут быть размещены объекты производственного и жилищно-гражданского назначения, отвалы пустых пород.

В заключительной части записки анализируются полученные цифры запасов и данные об экономической эффективности выполненных геологоразведочных работ и народнохозяйственном значении разведанного месторождения.

К отчету с подсчетом запасов должны быть приложены следующие материалы.

1. Необходимый качественный графический материал (топографические, геологические, геофизические, гидрогеологические, инженерно-технические карты, планы, разрезы, подсчетная графика — проекции, планы, разрезы, планы блокировки и т. п.), иллюстрирующий геологические особенности месторождения, морфологию рудных тел, условия их залегания и др. Графические материалы должны быть легкочитаемы, аккуратно оформлены, тщательно увязаны между собой, с текстом объяснительной записки и первичной документацией. На проекциях и другой подсчетной графике должны быть выделены рудные интервалы, во-

шедшие в подсчет, отражены основные структурные элементы месторождения, дайки, разломы, линии сочленения с рудными телами других направлений и т. д.

2. Материалы первичной геологической (и другой) документации, журналы опробования и обработки проб, анализов и др. Для месторождений, по которым первичная документация представляется не полностью (повторные подсчеты), в реестре выработок следует отметить выработки, по которым документация не приводится (с указанием причин); если эти выработки участвуют в подсчете запасов, все данные по ним должны быть нанесены на подсчетную графику и отражены в таблицах.

3. Акты комиссий по сличению первичной геологической документации с натурой, содержащие оценку качества документации и подтверждающие ее соответствие со сводной графикой. В актах должны быть приведены следующие сведения: а) суммарный объем выполненных разведочных работ (в метрах бурения, горных выработок), в том числе проконтролированных (в физических единицах и относительных процентах); б) распределение выработок, по которым проверена первичная документация, по времени их проходки и в пространстве (степень равномерности контроля во времени и пространстве); в) перечень выявленных недостатков литолого-петрографической характеристики пород, отражения структурных элементов (трещиноватости, слоистости, полосчатости, замеров углов встречи контактов и т. п.), описания рудной минерализации и др.; г) соответствие фактического выхода керна указанному в документации; д) соответствие документации рудных интервалов и анализов рядовых проб; г) качество геологического и геофизического опробования (выдержанность сечения и массы проб, соответствие их положения особенностям геологического строения участка, полнота и непрерывность отбора проб, наличие и результаты контрольного опробования); ж) рекомендации по устранению обнаруженных недостатков. К акту должна быть приложена справка о выполнении указанных рекомендаций, подписанная начальником или главным геологом партии или экспедиции.

4. Таблицы подсчета расчетных параметров и запасов по отдельным блокам, рудным телам и месторождению в целом.

5. Копия утвержденных кондиций.

6. Материалы гидрогеологических исследований с расчетом возможных водопритоков, указанием источников технического и питьевого водоснабжения.

7. Материалы по изучению горнотехнических условий эксплуатации месторождения.

8. Таблицы обработки данных контрольного опробования, результатов внутреннего и внешнего контроля аналитических работ, данные определения объемных масс руд.

9. Отчеты по изучению технологических свойств руд.

10. Материалы по выполнению рекомендаций ГКЗ СССР (для повторных подсчетов).

11. Для действующих предприятий — данные по сопоставлению результатов разведки и эксплуатации: фактических и принятых в обоснование кондиций показателей по извлечению полезных компонентов, потерям и разубоживанию и др.; данные о запасах, числящихся на маркшейдерском учете предприятия; сведения об обеспеченности предприятия сырьем и т. п.

Некоторые из указанных материалов по согласованию с ГКЗ СССР могут быть представлены в первичном виде — в одном экземпляре на время экспертизы и рассмотрения отчета с подсчетом запасов в ГКЗ СССР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П.* Основы структурно-формационного анализа колчеданоносных провинций. М., Недра, 1977.

2. *Вольфсон Ф. И., Дружинин А. В.* Главнейшие типы рудных месторождений. 2-е изд. М., Недра, 1982.

3. *Временная* инструкция о порядке составления и рассмотрения технико-экономических соображений о возможном промышленном значении месторождений твердых полезных ископаемых. М., 1982 (ВИЭМС).

4. *Временное* методическое положение по измерению и оценке экономической эффективности геологоразведочных работ. М., 1981 (ВИЭМС).

5. *Геофизические* методы поисков и разведки/Л. М. Горбунова, В. П. Захаров, В. С. Музымов, А. М. Ошин. Л., Недра, 1982.

6. *Горжевский Д. И., Шабаршов П. Я.* Минерально-сырьевая база свинцово-цинковой промышленности зарубежных стран в 1961—1980 гг. и перспективы ее развития до 2000 г.: Обзор. М., 1982 (ОНТИ. ВИЭМС).

7. *Инструкция* по внутреннему, внешнему и арбитражному геологическому контролю качества анализов разведочных проб твердых негорючих полезных ископаемых, выполняемых в лабораториях Министерства геологии СССР. М., 1982 (Мингео СССР).

8. *Инструкция* по применению классификации запасов к месторождениям медных руд. М., 1983 (ГКЗ СССР).

9. *Инструкция* по применению классификации запасов к месторождениям свинцово-цинковых руд. М., 1983 (ГКЗ СССР).

10. *Инструкция* по применению классификации запасов к месторождениям никелевых и кобальтовых руд. М., 1983 (ГКЗ СССР).

11. *Инструкция* по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., Недра, 1983.

12. *Каждан А. Б.* Разведка месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1977.

13. *Коган И. Д.* Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. 2-е изд. М., Недра, 1974. 304 с.

14. *Колчеданные* месторождения мира/Под ред. В. И. Смирнова. М., Недра, 1979.

15. *Краткий* справочник по геохимии/Г. В. Войткевич, А. Е. Мирошников, А. С. Поваренных, В. Г. Прохоров. 2-е изд. М., Недра, 1977.

16. *Крейтер В. М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1964.

17. *Кривцов А. И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М., Недра, 1983.

18. *Кривцов А. И., Макеева И. Т.* Проблемы геологии медно-порфировых и колчеданных месторождений. М., изд. ВИНИТИ, 1979.

19. *Кривцов А. И., Мигачев И. Ф.* Методические рекомендации по комплексированию работ по прогнозу и поискам медно-порфировых месторождений. М., 1983 (ЦНИГРИ).

20. *Кривцов А. И., Нарсеев В. А.* Геологоразведочный процесс и прогнозно-поисковые комплексы.— Сов. геология, 1983, № 1, с. 17—27.

21. *Критерии* и методика прогнозирования месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых.— В кн.: Опыт стран — членов СЭВ и СФРЮ. Москва, 1981, с. 286—318.

22. *Методические* рекомендации по комплексированию работ по прогнозу и поискам скрытых медноколчеданных месторождений/А. И. Кривцов, М. Б. Бородаевская, А. Г. Волчков и др. М., 1982 (ЦНИГРИ).

23. *Методические* указания о порядке проведения геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые по стадиям. М., изд. Мингео СССР, 1984.

24. *Методы* геологического контроля аналитической работы: Методические указания. М., изд. Мингео СССР, 1982.

25. *Наркелюн Л. Ф., Салихов В. С., Трубачев А. И.* Медистые песчаники и сланцы мира. М., Недра, 1983.

26. *Овчинников Л. Н., Лутков Р. Н.* Геохимические типы и зональность колчеданного оруденения Урала. М., Наука, 1983.

27. *Определение* рудных и рассеянных металлов в минеральном сырье/Под ред. Г. В. Остроумова. М., Недра, 1982.

28. *Основные* принципы составления, содержание и условные обозначения металлогенических прогнозных карт рудных районов/Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, К. В. Яблоков и др. М., Недра, 1964.

29. *Оценка* месторождений при поисках и разведках: Вып. 20. Никель. М., Госгеолтехиздат, 1963.

30. *Оценочные* (браковочные) кондиции для месторождений вольфрама, молибдена, меди, олова, свинца, цинка и ртути. М., 1979 (ВИЭМС).

31. *Павлова И. Г.* Медно-порфировые месторождения. М., Недра, 1978.

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

33. *Поиски* меднорудных месторождений/М. Б. Бородаевская, Р. Н. Володин, А. И. Кривцов и др. М., Недра, 1984.

34. *Полуэктов 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).

35. *Попов В. С.* Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. М., Наука, 1977.

36. *Порядок* приема и оформления в лабораториях Мингео СССР проб, направляемых на количественный анализ: Методические указания. М., изд. Мингео СССР, 1976.

37. *Принципы,* методы и опыт прогнозирования месторождения свинца и цинка: Материалы Всесоюзного семинара в г. Туле, март 1976 г. М., 1977 (ЦНИГРИ).

38. *Принципы* прогнозирования свинцово-цинковых месторождений и методика составления прогнозных карт/Д. И. Горжевский, П. Ф. Иванкин, Н. Н. Биндеман и др. М., Недра, 1978.

39. *Рациональная* сеть предварительной разведки: Методическое пособие/В. И. Бирюков, М. А. Денисов, Е. К. Казаков и др. М., Недра, 1978.

40. *Рудные* месторождения СССР/Под ред. В. И. Смирнова. Т. 2. М., Недра, 1974.

41. *Рудоносность* и геологические формации структур земной коры/Под ред. Д. В. Рундквиста. Л., Недра, 1981.

42. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. 4-е изд. М., Недра, 1982.

43. *Смирнов С. С.* Зона окисления сульфидных месторождений. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1955.

44. *Стратифицированные* месторождения меди СССР/Ю. В. Богданов, Е. З. Бурьянова, Э. И. Кутырев и др. Л., Недра, 1973.

45. *Строна П. А.* Главные типы рудных формаций. Л., Недра, 1978.

46. *Требования* к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов. М., 1982 (ГКЗ СССР).

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

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Важнейшие месторождения:
меди 78
свинца и цинка 80
никеля и кобальта 83
Геолого-промышленные типы месторождений:
меди 68
свинца и цинка 72
никеля и кобальта 74
Геолого-экономическая оценка:
кондиции 299
ТЭСы 306
ТЭДы 308
Группировки месторождений:
меди 254
свинца и цинка 263
никеля и кобальта 270
Группировки рудных тел:
по размерам 245
по форме 245
по внутреннему строению 246
по степени тектонической нарушенности 246
по характеру распределения полезных компонентов 247
Запасы, добыча и потребление:
меди 7
свинца 13
цинка 14
никеля 18
кобальта 19
Категории металлогении:
пространственные 39
классификация 40
провинции 40
зоны 42
рудные районы 42
рудные поля 42
Комплексирование работ при поисках месторождений:
меди 137, 159, 175
свинца и цинка 194, 205, 211, 218, 222
никеля 235
Кондиции для подсчета запасов:
браковочные 306
временные 308
постоянные 309
Металлогенические и прогнозные карты:
назначение 52
виды 52
масштабы 51
Металлогенические обстановки 43
Металлогенические эпохи 47
Методы поисков:
геологического картирования 96
геофизические 97
геолого-минералогические 107
геохимические 108
Опробование:
виды 274
контроль 270
Плотность разведочных сетей для месторождений:
меди 254
свинца и цинка 264
никеля и кобальта 270
Подсчет запасов:
способы 314
требования к материалам 315
Поиски месторождений:
меди 116
свинца и цинка 183
никеля и кобальта 222
Прогнозно-поисковые комплексы 61
Прогнозные ресурсы 56
Прогнозные факторы и критерии 52
Промышленные типы руд:
меди 86
свинца 89
цинка 91
никеля 94
кобальта 95

Разведка месторождений:
задачи и принципы 243
методы 250
системы 251
Рудообразующие процессы:
плутоногенные 26
вулканогенные 27
седиментогенные 27
метаморфогенные 27
Стадийность геологоразведочного процесса 56
Требования промышленности к качеству концентратов:
медных 291
свинцовых 291
цинковых 292
серного колчедана 292
Физические и химические свойства:
меди 5
свинца 9
цинка 9
никеля 15
кобальта 15
Формации:
геологические 31
металлогенические 29
рудные 29
Экономическая эффективность геологоразведочных работ 3

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Общие сведения 5

Медь. *И. З. Самонов* 5
Свинец и цинк. *П. Я. Шабаршов* 9
Никель и кобальт. *А. Ф. Фоминых* 15

Геолого-генетические и методологические основы прогноза месторождений. *А. И. Кривцов* 21

Основные понятия и категории металлогении 21
Рудообразующие процессы 23
Рудные, геологические и металлогенические формации 29
Классификации рудных формаций 38
Пространственные и временные категории металлогении 39
Металлогенические обстановки 42
Металлогеническая периодизация земной коры и эволюция рудогенеза в геологической истории 47
Металлогенические и прогнозные карты 51
Прогнозные ресурсы и стадийность геологоразведочного процесса 56
Принципы формирования прогнозно-поисковых комплексов 61

Поиски месторождений 67

Геолого-промышленные типы месторождений и промышленные типы руд. *А. И. Кривцов, И. З. Самонов, Е. И. Филатов, А. Ф. Фоминых, П. Я. Шабаршов* 67
Геолого-промышленные типы месторождений 67
Промышленные типы руд 85
Методы поисков. *А. Ф. Фоминых* 96
Методы геологического картирования 96
Геофизические методы 97
Геолого-минералогические методы 107
Геохимические методы 108
Поиски месторождений меди 116
Медно-порфировые месторождения. *А. И. Кривцов* 116
Медноколчеданные месторождения. *А. И. Кривцов* 143
Месторождения медистых песчаников и сланцев. *А. Ф. Фоминых* . . . 164
Месторождения второстепенных геолого-промышленных типов. *И. З. Самонов* 175
Поиски месторождений свинца и цинка. *Е. И. Филатов* 183
Колчеданно-полиметаллические месторождения в осадочно-вулканогенных толщах (рудноалтайского типа) 183
Колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенных толщах (филизчайского типа) 195
Колчеданно-полиметаллические месторождения в терригенно-карбонатных и карбонатно-кремнисто-терригенных толщах (атасуйского типа) 200
Свинцово-цинковые стратиформные месторождения в карбонатных комплексах (миргалимсайского типа) 208
Свинцово-цинковые «скарновые месторождения в карбонатных комплексах (приаргунского типа) 211
Свинцово-цинковые жильные месторождения в разнообразных комплексах садонского типа 218

323

Поиски месторождений никеля и кобальта 222
Сульфидные медно-никелевые месторождения. *А. И. Кривцов* 222
Силикатные никелевые месторождения коры выветривания. *А. Ф. Фоминых* 237

Разведка месторождений. *И. З. Самонов* 243

Основные задачи и принципы разведочных работ 243
Факторы, определяющие методику разведки и необходимую плотность разведочной сети 245
Группировка месторождений цветных металлов для целей разведки . . . 247
Методы и системы разведки 250
Методы разведки 250
Системы разведки 251
Стадийность разведочного процесса 252
Методика разведки месторождений различных типов 254
Месторождения меди 254
Месторождения свинца и цинка 263
Месторождения никеля и кобальта 270
Опробование 274
Химическое опробование : : 274
Минералогическое и техническое опробование 287
Технологическое опробование 288
Изучение руд на попутные компоненты 294
Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождений 296

Геолого-экономическая оценка и подсчет запасов месторождений цветных металлов. *И. З. Самонов* 299

Требования классификации запасов полезных ископаемых применительно к месторождениям цветных металлов 299
Оценка месторождений на разных стадиях геологоразведочных работ . . 304
Общие положения геолого-экономической оценки месторождений . . . 304
Геолого-экономическая оценка месторождений на стадии поисково-оценочных работ 305
Геолого-экономическая оценка месторождений на стадиях предварительной и детальной разведки 308
Подсчет запасов 313
Подсчет запасов основных и ценных попутных компонентов 313
Требования к материалам подсчетов запасов 315

Список литературы 319

Предметный указатель 321

Анатолий Иванович Кривцов, Иван Захарович Самонов, Евгений Иванович Филатов и др.

СПРАВОЧНИК ПО ПОИСКАМ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Редакторы издательства *Т. П. Мыскина, Ю. А. Рожнов*
Технический редактор *Л. Н. Шиманова*
Корректор *Г. Г. Большева*

ИБ № 5513

Сдано в набор 05.11.84. Подписано в печать 22.02.85. Т-07203. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 20,5. Усл. кр.-отт. 20,5. Уч.-изд. л. 23,23. Тираж 3900 экз. Заказ 2095/9408—4. Цена 1 р. 50 к.

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

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА» ГОТОВИТ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ

БОГАЦКИЙ В. В.

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР РУДНЫХ ПОЛЕЙ.
1986. 9 л. 1 р. 40 к.

На примерах отечественных и зарубежных промышленных месторождений (магнетитовых, золоторудных, молибденовых, редкометальных) показано соответствие теоретических интерференционно-резонансных полей трещинно-брекчиевым структурам и возможность использования в практических целях муаровых моделей. Рассмотрены возможности практического использования волновых представлений для прогноза и поиска новых трещинно-брекчиевых структурных систем, т. е. открытия новых рудных узлов и переоценки перспектив уже известных объектов (рудных полей, районов).

Для научных работников, занимающихся вопросами рудной геологии.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ЭНДОГЕННЫХ УРАНОВЫХ РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ.

КРУПЕННИКОВ В. А., ТОЛКУНОВ А. Е., ХОРОШИЛОВ Л. В. И ДР.
1986. 18 л. 3 р.

Обобщены представления о структурно-металлогенических элементах земной коры, охарактеризованы тектонические элементы, развитые в пределах рудных полей и месторождений, рассмотрены существующие классификации структур урановых рудных полей и месторождений и предложена их группировка. Дана детальная характеристика типов структур рудных полей и месторождений, приведены примеры, характерные для каждого из выделенных типов. Большое внимание уделено анализу структурных условий, глубины и этапов формирования эндогенного уранового оруденения, его места в ходе геотектонического развития рудоносных областей и общим закономерностям, определяющим локализацию месторождений и рудных тел.

Для научных работников, специализирующихся на изучении, разведке и поисках гидротермальных урановых месторождений.

ГОРЖЕВСКИЙ Д. И., КОЗЕРЕНКО В. Н., КОНСТАНТИНОВ Р. М.

МАГМАТИЧЕСКИЕ И РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ.

1986. 20 л. 3 р. 40 к.

Рассмотрены группы рудоносных магматических формаций (геосинклинальные, орогенные, платформенные и областей тектоно-магматической активизации), а также понятия о рудных формациях, подформациях и минеральных типах эндогенных рудных месторождений. Приведены характеристики каждой рудоносной магматической формации (ее геологическая позиция, петрографические и петрохимические особенности, характер рудоносности). Охарактеризованы рудные формации, поведение важнейших из них в ходе развития земной коры от архея до кайнозоя, их значение для поисков, прогнозирования, оценки и разведки месторождений.

Для научных работников, занимающихся изучением рудных и нерудных полезных ископаемых.

КРИВЦОВ А. И., МИГАЧЕВ И. Ф., ПОПОВ В. С.

МЕДНО-ПОРФИРОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИРА.

1986. 19 л. 3 р. 20 к.

Проанализированы геотектоническая позиция медно-порфировых месторождений и их распределение по возрастам, составу руд и рудоносных интрузивов. Приведено систематизированное описание наиболее представительных месторождений мира (более 200). По всем континентам и типовым провинциям даны характеристика рудоносных вулкано-плутонических поясов и положение в них медно-порфировых месторождений. На основе группировки основных характеристик месторождений рассмотрены их типовые модели, характер выражения в различных обстановках. Проанализированы структурные и физико-химические условия формирования месторождений с количественной оценкой основных параметров рудообразующих процессов.

Для научных работников, геологов производственных организаций.

ЛАРИЧКИН В. А.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

(олово, вольфрам, молибден)

1985. 14 л. 70 к.

Предложена принципиальная схема группировки промышленных типов месторождений редких металлов, выделенных на формационной основе. Дана сравнительная характеристика промышленных типов месторождений олова, вольфрама и молибдена. Выделены три группы геолого-экономических критериев для редкометального оруденения (прогнозные, поисковые и оценочные), соответствующие масштабам геологических объектов и стадиям геологоразведочных работ.

Для геологов производственных и научно-исследовательских организаций.

ТВАЛЧРЕЛИДЗЕ Г. А.

МЕТАЛЛОГЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ.

1985. 12 л. 1 р. 80 к.

Охарактеризованы тектоника, магматизм и металлогения различных типов геосинклиналей и орогенных поясов, а также сводово-глыбовых поднятий, траповых полей, рифтогенных структур (зеленосланцевые пояса архея, протоавлакогены, континентальные и океанические рифты) и платформенных чехлов. Приведены главнейшие направления развития земной коры, схема эволюции геологических структур, краткий очерк металлогенической эволюции земной коры.

Для геологов, занимающихся изучением вопросов тектоники, магматизма и металлогении.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов:

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;

№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20

Издательство «Недра»

18847