

А.Г. ЖАБИН, Т.Т. ЛЯХОВИЧ

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ, МЕТОДЫ ПОИСКА И ОЦЕНКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Прикладная эффективность применения минералогических критериев поиска, разведки и оценки рудных месторождений обусловлена ясным обозначением их информационного веса как по формационным классам рудных объектов, так и по их иерархии (рудное тело → месторождение → поле). Минералогические критерии не могут быть универсальными, годными для всех рудных формаций и всех иерархий. Критерии позволяют определять направление из околорудного ореола в сторону рудного тела, уровень подсечения зональной колонки, рудную формацию, делать оценку запасов. Минералогические критерии используются в естественном комплексе с прочими — геологическими, литогеохимическими и геофизическими.

В 30—80-е гг. XX в. минералоги накопили огромный фактический материал, прямо или косвенно относящийся к поискам, разведке и оценке рудных месторождений. Особенно большая доля исследований относится к так называемым типоморфным и типохимическим свойствам минералов, например, кристалломорфологическим. [7, 8]. Частично эти данные опубликованы в научных статьях и монографиях, основной же объем сосредоточен в научных и производственных отчетах. По нашей оценке, основанной на подробном знакомстве с несколькими выборками монографий, статей и отчетов этого периода, их информационное поле характеризуется слабой общей теоретической проработкой первичных данных, малыми объемами генерализации и сортировки; необоснованно широким применением «критериев» и «признаков», квалифицированных как универсальные; редким обозначением общего и относительного информационного веса конкретных критериев и признаков.

Например, в 218 изученных статьях обозначенной тематики за 1980—1983 гг. содержатся общие рекомендации в общем виде: обнаруженные закономерности можно использовать при поисках рудных месторождений. Лишь в пяти статьях выявлены технологические особенности поисков, разведки, оценки, а в семи было обозначено критериально-информационное пространство обнаруженных закономерностей как в направлении рудно-формационного сорта объектов, так и их геологической иерархии (рудное тело → месторождение → поле).

Мы утверждаем, что отсутствуют некие универсальные минералогические критерии, способствующие поискам, разведке и оценке рудных месторождений, которые применимы ко всем рудным формациям и геологическим иерархиям. Универсальными являются научные идеи (например, об общей зональной «колонке» минералоотложения), но не вещественные критерии и признаки. Последние всегда конкретны.

В чем смысл их конкретности и есть ли способ повысить прикладную эффективность обнаруженных закономерностей? Отсутствие универсальных вещественных критериев (не путать с идеями) обусловлено следующим:

1. Информация, которую можно получить при исследовании минералов, всегда построена иерархически: минеральный индивид (зерно, кристалл) → минеральные агрегаты (горные породы, руды) → геологическое тело (как совокупность минеральных агрегатов).

2. Пределы, ограничения эффективного использования минералогических признаков, закономерностей [3, 9, 29]: по видам, сортам, классам формаций и фаций [12] объектов; по размерам объектов, отличающихся числом стадий формирования, т. е. по онтогенетическому развитию; по абсолютному возрасту объектов (филогенез); по пространственному дальнему действию критерия, признака (например, в околорудных ореолах); по динамике минералообразования [1].

Информационное пространство поисково-оценочного критерия, признака может быть сугубо локальным (минеральный индивид, прожилок, микропустотка); внутрiformационным: пространство конкретного объекта определенной рудной формации (индивида) или всех объектов этой формации (вида), отнесенным к фациальной группе формаций (например, к группе гидротермально-осадочных фаций рудных формаций: свинцово-цинковых в известняках, медно-колчеданных в вулканитах, стронцианитовых в терригенных отложениях и т.п.); отнесенным лишь к определенному классу (например, плутогенному) рудных формаций.

Неучет этих ограничений и приводит к чрезмерному, необоснованному повышению информационного пространства и уровня применения критерия, т. е. к его дискредитации.

Повышение прикладной эффективности минералогического критерия можно достигнуть также ясным пониманием задач, вопросов, которые этот критерий раскрывает: не вообще способствует поискам, а определяет конкретную задачу в технологической цепочке операций поисков, разведки и оценки (в пространстве, во времени, в массе вещества, в околорудных изменениях и т. п.).

Например, минералогические критерии, используемые при поисках, разведке и оценке рудных месторождений, можно разделить на три группы по решаемым задачам.

1. Указатели размеров пространства и его структуры: размер, объем; геометрическая форма; векторы, указывающие в сторону рудного тела; векторы или изолинии общей зональной структуры как указатели тыловой (нижней) и фронтальной (верхней) зон.

2. Указатели времени минералоотложения (его длительности и последовательности).

3. Указатели массы рудо-минералоотложения [2].
 Минералогические указатели направления к рудному телу, например, внутри околорудного пространства, есть следствие следующего: развития стандартных зональных колоннок отложения, обусловленных наличием ограниченного числа стандартных типов гидротермальных растворов; падения изолиний теплового поля в сторону от рудоподводящих и рудолокализирующих структур (термобарогеохимия, декрепитация, равновесные пары минералов и т.д.); корреляции размера, состава и формы вкрапленников минералов-индикаторов с температурой их роста в околорудном пространстве [10].

Масса вещества при рудоотложении положительно коррелируется с интенсивностью и длительностью функционирования гидротермального теплового потока; наличием долгоживущего рудоосадительного барьера (физического, физико-химического, механического и т.п.) [14, 16]; общим временем рудоотложения; степенью и объемом дорудной метасоматической проработки субстрата; количеством стадий минералоотложения.

Для оценки информационного поля эффективного приложения найденного критерия (признака) важно также различать рудные объекты двух классов: А — с концентрированным оруденением, Б — с рассеянным оруденением (зоны рассеянной минерализации).

Примерами концентрированного оруденения являются пирититы¹ в медно-колчеданной формации, хромититы в ультрабазитах, медно-никелевые в габброноритовых комплексах и др. Зоны рассеянной минерализации описаны как сопровождающие концентрированные руды в виде фаций и как образования самостоятельные. В этом случае они возникают в зонах застойных диффузно перемещиваемых растворов без существенного градиента концентраций, без ясной зональной структуры, с низкими содержаниями полезных компонентов, например, зоны пиритовой вкрапленности в вулканитах, продуктивных на медно-цинково-колчеданное концентрированное оруденение.

Минералогические критерии и методы поисков, разведки и оценки рудных месторождений

Критерии, указывающие направление из околорудного ореола в сторону рудного тела. В подавляющем большинстве случаев основное количество элементов-индикаторов в околорудных метасоматитах месторождений тех или иных формационных типов содержится не в породообразующих, а в акцессорных минералах. Такие минералы образуют вкрапленность, вкрапленные ореолы около рудных тел. Как правило, мощность, дальное действие таких вкрапленных ореолов превышает мощность околорудных метасоматитов (рис. 1.) [11, 13, 15, 17, 23].

¹ Анхимономинеральные пиритовые породы, характерные для колчеданных рудных провинций [2, 12, 13].

Возникает некоторая зональная суперпозиция вкрапленности минералов-индикаторов на субстрате околорудных метасоматитов, обладающих петрохимической зональностью. Метасоматиты соответствуют этапу преимущественно дорудной проработки вмещающих пород, а вкрапленность — рудному этапу. Цифровое моделирование зонального роста таких околорудных вкрапленностей проведено в [10].

Минералы, кристаллизующиеся в пространстве зональной колонки околорудных метасоматитов, отражают ее внутреннюю зональную структуру в своих пространственно меняющихся свойствах (рис.1, табл.1).

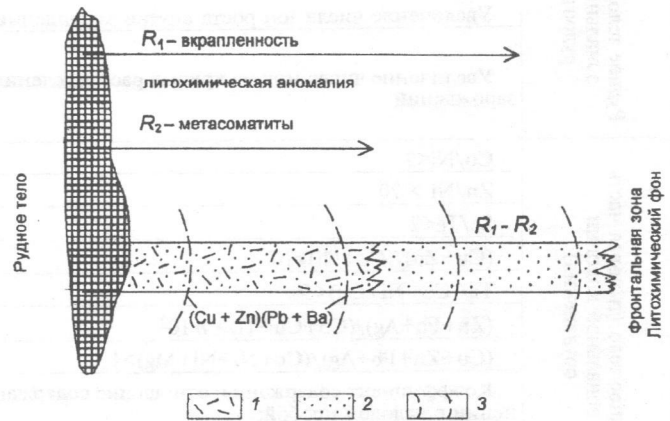


Рис. 1. Дальнее действие околорудных метасоматитов (R_2) и вкрапленностей (R_1) минералов-индикаторов, выросших центростремительно от рудного тела; R_1-R_2 — внешняя часть околорудного ореола, в которой отсутствуют макро- и микроскопические различимые метасоматические образования, но присутствует вкрапленность метакристаллов минерала-индикатора: 1 — околорудные метасоматиты; 2 — вкрапленность минерала-индикатора; 3 — изолинии какого-либо литохимического показателя зональности; $Cu + Zn/Pb + Ba$ — литохимический показатель

Критерии диагностики рудно-минеральной формации. Существуют прямые способы определения вида рудно-минеральной формации по аллювиальной гальке, сходам из ручьев, обломкам в почвах, делювию, штуфам из разведочных канав, шурфов.

Приведем примеры, когда диагностика рудно-минеральной формации осуществляется по минералам, не только входящих в состав руд, но и образующих вкрапленные околорудные ореолы [15].

В [5] для 17 рудных формаций золоторудных месторождений на основе байесовского подхода [20] по содержанию элементов-примесей в пирите, галените, сфалерите и арсенопирите продемонстрированы научные и прикладные возможности диагностики конкретных золоторудных формаций. Приведены априорные вероятности (частоты распределения), позволяющие оценивать, формационно идентифицировать упомянутые минералы, обнаруженные в ходе поисковых и разведочных работ. Определены также мультипликативные коэффициенты (K_u) идентификации рудных формаций, например, по пириту (рис. 2).²

² График изменения мультипликативного коэффициента идентификации рудных формаций по пириту $K_u = (Zn \cdot Cu \cdot Pb \cdot Ag) / (As \cdot Co \cdot Ni)$. По методу геохимических спектров строились графики распределения средних содержаний элементов-примесей по 17 рудным формациям. На основе парных сопоставлений графиков рассчитаны наиболее эффективные мультипликативные коэффициенты, в данном случае $K_u = (Zn \cdot Cu \cdot Pb \cdot Ag) / (As \cdot Co \cdot Ni)$.

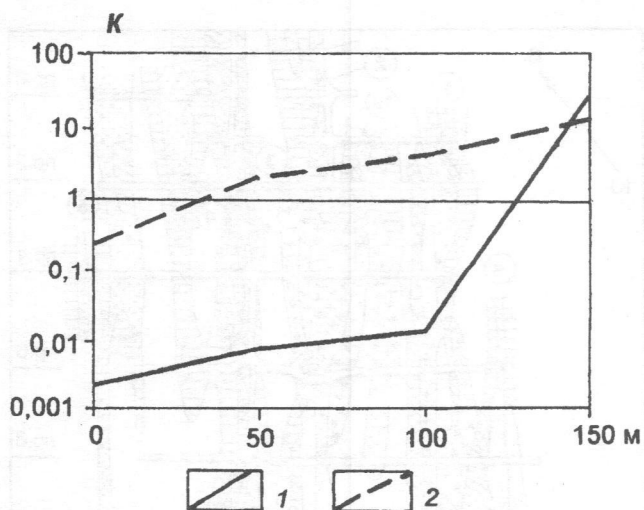


Рис. 3. Оценка уровня подсечения околорудного ореола (месторождение Меградзор, Армения), график изменения с глубиной мультипликативных коэффициентов зональности: 1 — K_1 — по элементам-примесям в сфалерите (Ag-Te-Cu/Bi²-La); 2 — K_2 — по валовым геохимическим пробам (Cu-Te/Be-Ni).

Высокоэффективным примером рудно-формационной диагностики является использование турмалина [21] для гранитогенных вольфрамово-оловянных и других рудных формаций.

Оценка гипсометрического уровня среза околорудных геохимических аномалий (ореолов). В [4, 19] оценены уровни эрозионного среза или подсечения скважинами зональных околорудных ореолов по данным литохимического опробования. Но такая оценка становится более точной и контрастной, если основывается не только на данных валовой литохимической пробы, а также на элементах-при-

Мощности залежей и максимальное число зон роста пирита на месторождении Бескесском

Залежь	Условная мощность, м	Число зон пирита
Главная Худеская	150	330
Промежуточная Худеская	60	101
Кыркольская	8	9
Бескеская	19	27
Власенчихинская	90	82
Быковская	60	110

месях во вкрапленных минералах. На рис. 3 приведен пример решения этой задачи для золотополиметаллического месторождения Меградзор в Армении [4].

Оценка вероятного масштаба и минерального типа оруденения. Мы предполагаем, что геохимические и минералогические критерии выявляют связь с масштабами, массой минералоотложения через свойства времени. Известны два таких свойства [24]: длительность и последовательность.

Критерий прогнозной оценки масштабов оруденения по длительности минералоотложения разработан И.А. Богушем [2] на примере медно-колчеданных месторождений Северного Кавказа. Во всех колчеданных месторождениях мира независимо от их возраста в пирите отмечена микроразональность роста (несколько сотен, тысяч зон в одном зерне). Предположено, что число таких зон отражает длительность, микропульсации минералоотложения, коррелирующиеся с массоотложением (рис. 4).

Для подтверждения вывода о соответствии зональности пирита продуктивности рудных источников проведена ранговая корреляция между максимальным числом зон роста пирита и мощностью колчеданных залежей (табл. 2).

Критерий прогнозной оценки масштабов оруденения по последовательности (этапности, стадийности) минералообразования приведен по [5] для Итакинского месторождения в Забайкалье. Пириты из крупных (двухстадийных) рудных тел обогащены сурьмой, никелем, серебром, а пириты из мелких (одностадийных) тел — титаном и ванадием. Использован мультипликативный коэффициент $K_m = (Sb \cdot Ni) / (Ti \cdot V)$ (рис. 5).

В [22] продемонстрирован эффективный метод подсчета запасов неметаллов (по данным аналитического опробования) непосредственно по минералам, основанный на данных минералогического картирования. Выигрышем

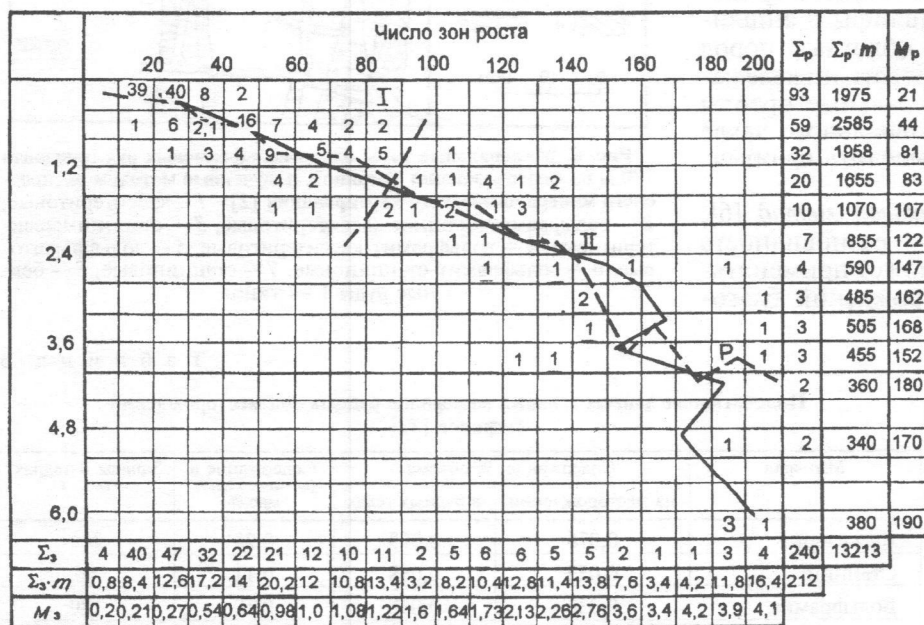


Рис. 4. Корреляционная решетка и графики зависимости зональности от размеров зерен (z) и размеров зерен от числа зон роста (p): Σ_z — суммарное количество зерен с зональностью данного класса; $\Sigma_z \cdot m$ — сумма средних показателей размеров зерен пирита в данном классе зональности роста; M_z — количество зон роста в зернах данного класса; M_p — среднее число зон роста в зернах пирита данного класса; Σ_p — сумма средних показателей числа зон роста в зернах данного класса; $\Sigma_p \cdot m$ — сумма средних показателей зональности в данном классе размерности зерен. I — отрезок графика, соответствующий вулканогенно-осадочным рудам; II — отрезок графика, соответствующий комбинированным рудам (по [3])

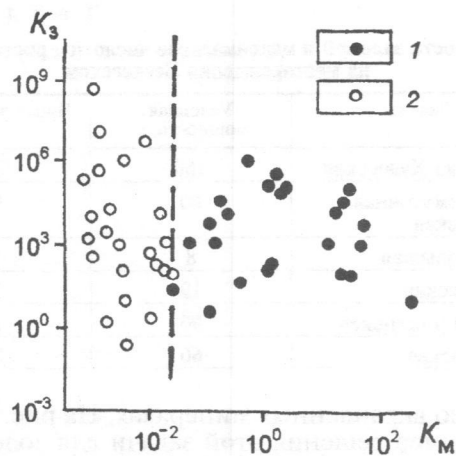


Рис. 5. Зависимость величин коэффициента зональности K_z и показателя масштаба оруденения K_m : 1 — крупных размеров; 2 — средних и мелких размеров

такого метода является разделение рудного пространства на блоки, где находятся разные минеральные, технологически учитываемые формы металлов — в данном случае три минеральных формы олова: касситерит SnO_2 , станнин $\text{Cu}_2(\text{Fe}, \text{Zn})\text{SnS}_4$ и варламовит $(\text{Sn}, \text{Fe})(\text{OH})_4$ (рис. 6, табл. 3).

Диагностика типа и ореола распространения околорудных метасоматитов и рудной минерализации во вторичных породах. В зоне гипергенеза околорудные породно-метасоматические и минералогические вкрапленные и прожилковые ореолы изучаются при исследовании обломочной фракции литохимических проб (1—3 или 2—3 мм) [25]. Фракция минералов цементируется полистиролом, эпоксидной смолой с получением твердого брикета, из которого изготавливаются шлифы и аншлифы. Они включают не менее 10 обломков пород (чаще 20—30) и позволяют картировать нижележащие зоны метасоматитов и минеральные ореолы при мощности эллювиально-делювиального чехла до 8 м. Такую фракцию можно выделить из обычных литохимических проб.

Минералого-геохимический шлиховой метод [6], разработанный в ЦНИГРИ [6], — разновидность шлихо-геохимической съемки и может применяться при поисках коренных месторождений благородных, цветных и редких металлов. Он включает ряд последовательных операций: отбор проб из рыхлых отложений, выделение электромагнитной фракции, определение в последней содержания кристаллов лимонитизированного пирита (суммарное для пентагондодекаэдрического, октаэдрического и кубического габитусов), оконтуривание на основании полученных данных перспективных площадей, анализ на золото и другие рудные элементы монофракций лимонитизированного пирита или электромагнитной фракции шлиховых проб, оконтуривание по дан-

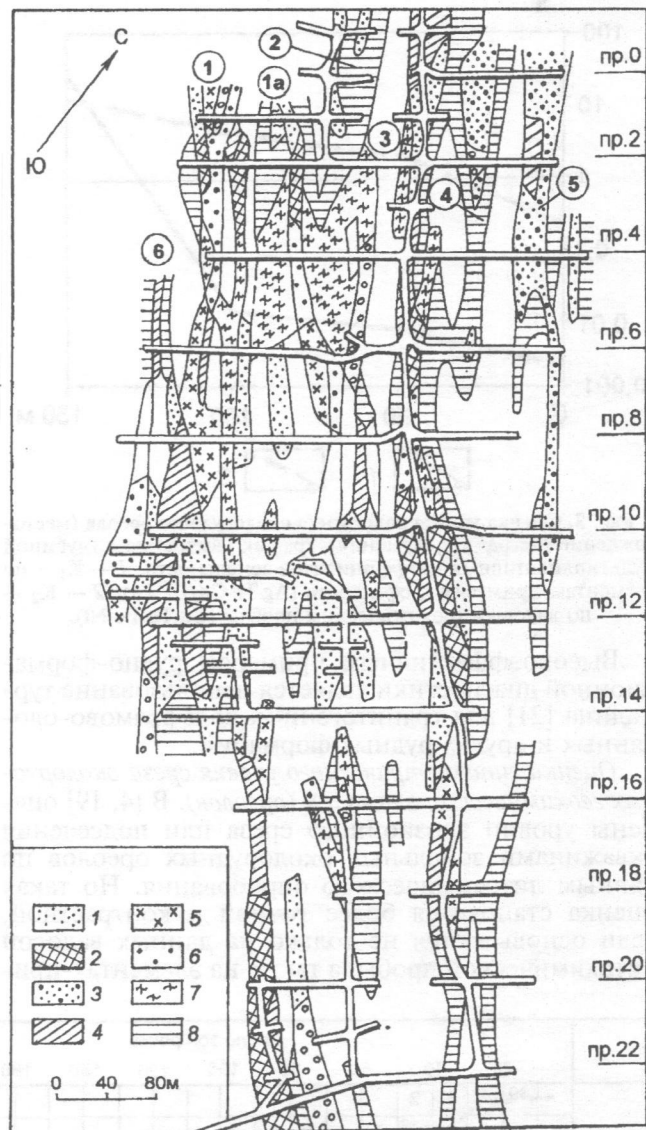


Рис. 6. Минеральные типы олово-вольфрамовых руд горизонта 770 м на месторождении Тигриное, полученные методом экспрессного минералогического картирования [2]: 1 — касситеритовые, 2 — вольфрамит-станнин-касситеритовые, 3 — станнин-касситеритовые, 4 — вольфрамит-касситеритовые, 5 — вольфрамитовые, 6 — вольфрамит-станниновые, 7 — станниновые, 8 — бедные руды 1—4 типов

Т а б л и ц а 3

Подсчитанные запасы главных минералов рудных зон месторождений Тигриное [22]

Минерал	Содержание, % объема		Содержание в рудных телах, мас. %	Запасы в недрах, тыс. т
	на месторождении	в рудных телах		
Касситерит	0,076	0,093	0,23	200
Станнин	0,052	0,068	0,11	90
Вольфрамит	0,036	0,038	0,10	180
Сфалерит	0,160	0,209	0,29	270
Арсенопирит и леллингит	0,095	0,091	0,20	160
Топаз	0,534	0,844	1,06	1000
Флюорит	0,105	0,208	0,24	250
Циннвальдит	0,450	0,550	0,63	625
Карбонаты (Fe, Mn)	0,054	0,079	0,11	100

ным анализом участков максимального развития рудной (например, золотой) минерализации и определение ее рудно-геохимических формационных типов.

Минералогическое картирование как универсальный метод поисков и оценки на рудоносных территориях обоснован и проиллюстрирован для трех иерархий (рудное тело → месторождение → поле) [17, 18, 27, 26].

Наиболее эффективные прикладные результаты получаются при комплексной съемке территории: оконтуривание околорудных метасоматитов как по формационному типу (кварц-серицитовые, березиты, листвениты, скарноиды, роговики и т.п.), так и по интенсивности проработки субстрата (в баллах); оконтуривание зон вкрапленности минералов-индикаторов оруденения; оконтуривание зон прожилковой (рудной и нерудной) минерализации; оконтуривание литохимических околорудных ореолов.

Минералогическое картирование может производиться как в режиме, сопровождающем литохи-

мическое опробование территории (взятие части утяжеленных проб), так и в автономном, обычно на территориях уже покрытых литохимической съемкой (расшифровывание рудно-формационной принадлежности и внутренней зональной структуры выделенных аномальных геохимических полей).

Превосходные обобщения по топоминералогическим исследованиям рудоносных узлов, провинций, металлогенических зон выполнены Н.П. Юшкиным [30, 31].

Примерами высокоэффективного в прикладном и научном отношении минералогического картирования являются исследования В.А. Попова и В.И. Поповой [22] по вольфрамо-оловянному месторождению Тигриное (Приморье) и Б.В. Чеснокова [28] по Березовскому золоторудному району на Среднем Урале.

Таким образом, на конкретных примерах продемонстрирована прикладная эффективность минералогических методов и критериев при поиске и оценке рудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамсон Г.Я., Жабин А.Г. Движение концентрационной волны золота в родственных зональных рядах месторождений // Докл. РАН. 1994. № 2. С. 212—215.
2. Богдаш И.А. Оценка продуктивности и режима функционирования эндогенных источников колчеданных руд по зональности роста пирита // Докл. АН СССР. 1981. Т.258. № 5. С. 1188—1191.
3. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Индивидуальность. М.: Наука, 1975. 395 с.
4. Григорян С.В. Рудничная геохимия. М.: Недра, 1992. 293 с.
5. Григорян С.В., Ляхович Т.Т. Оценка геохимических аномалий по элементам-примесям в минералах. М., 2000. 78 с.
6. Гуреев В.Ф., Гребенчиков А.М. Методические указания по применению минералого-геохимического шлихового метода при поисках золоторудных месторождений. М., 1979. 21с.
7. Евзикова Н.З. Кристалломорфологические основы учения о типоморфизме минералов // Регион. и генетич. минералогия. Киев: Наук. думка. 1979. № 3. С.31—42.
8. Евзикова Н.З. Поисковая кристалломорфология. М.: Недра, 1984. 143 с.
9. Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Агрегаты. М.: Наука, 1979. 275 с.
10. Жабин А.Г. Анатомия вкрапленников минералов-индикаторов и модели зональности околорудных ореолов // Зап. ВМО. 1990. № 2. С.47—62.
11. Жабин А.Г. Градиентно меняющиеся свойства минералов-индикаторов в околорудных ореолах // Докл. АН СССР. 1991. Т. 319. № 3. С.688—690.
12. Жабин А.Г., Самсонова Н.С., Исакович И.З. Минералогические исследования околорудных ореолов. М.: Недра, 1987. 159 с.
13. Жабин А.Г., Кременицкий А.А. Рудоконцентрирующий барьер как функция пирит-пиротинового превращения // Отечественная геология. 1993. № 1. С.71—79.
14. Жабин А.Г., Самсонова Н.С., Астахов Г.Н. Фации рудоотложения, обусловленные контрастным составом вмещающих пород // Геология рудных месторождений. 1984. № 3. С. 73—86.
15. Жабин А.Г., Абрамсон Г.Я., Чекуваидзе В.Б. Околорудный литохимический ореол в онтогенезе рудного месторождения // Зап. ВМО. 1997. № 1. С. 3—17.
16. Жабин А.Г., Шарова И.Г., Самсонова Н.С. Черносланцевые формации как полистадийные и полифункциональные геохимические барьеры на золото и другие элементы // Отечественная геология. 2000. № 4. С.49—54.
17. Жабин А.Г., Исакович И.З., Чекуваидзе В.Б. Минералогическое картирование рудоносных территорий: цели, методы, прикладная эффективность, комплексирование. 1. Общие принципы минералогического картирования // Зап. ВМО. 2001. № 6. С. 15—30.
18. Жабин А.Г., Исакович И.З., Чекуваидзе В.Б. Минералогическое картирование рудоносных территорий: цели, методы, прикладная эффективность, комплексирование. 2. Минералогическое картирование в онтогенетическом аспекте // Зап. ВМО. 2002. № 1. С. 114—121.
19. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983. 191 с.
20. Кузьмин В.И. Байсовский подход при оценке истинности суждений в поисковой минералогии // Отечественная геология. 1993. № 5. С.43—49.
21. Кузьмин В.И., Добровольская Л.С., Солнцева Л.С. Турмалин и его использование при поисково-оценочных работах. М.: Недра, 1979. С. 171—177.
22. Попов В.А., Попова В.И. Методика и результаты минералогического картирования вольфрамо-оловянного месторождения Тигриное (Приморье). Екатеринбург, 1992, 92 с.
23. Прохоров В.Г. Пирит (к геохимии, минералогии, экономике и промышленному использованию) // Тр. СНИИГ-ГИМСа. В.102. Новосибирск, 1970. С. 18—24.
24. Уитроудж. Естественная история времени. М.: Прогресс, 1964. 431 с.
25. Чекуваидзе В.Б., Исакович И.З., Миляев С.А. Минералого-геохимические ореолы Наталкинского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 1999. № 6. С. 45—50.
26. Чекуваидзе В.Б., Жабин А.Г., Исакович И.З. Минералогическое картирование рудоносных территорий: цели, методы, прикладная эффективность, комплексирование. 4. Минералогическое картирование рудных полей // Зап. ВМО. 2002. № 3. С. 85—96.
27. Чекуваидзе В.Б., Исакович И.З., Жабин А.Г. Минералогическое картирование рудоносных территорий: цели, методы, прикладная эффективность, комплексирование. 3. Минералогическое картирование рудных тел и месторождений // Зап. ВМО. 2002. № 2. С. 109—119.
28. Чесноков Б.В. Минералогическое картирование как метод оценки рудных районов (на примере Березовского рудного района на Среднем Урале) // Тр. Свердл. горн. ин-та. 1975. В.106. С. 55—65.
29. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. Л.: Наука, 1977. 292 с.
30. Юшкин Н.П. Опыт среднемасштабной минералогии. Л.: Наука, 1980. 376 с.
31. Юшкин Н.П. Топоминералогия. М.: Недра, 1982. 288 с.

ИМГРЭ

Рецензент — В.С. Ежов