Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. XXXV, вып. 2, 1959 г.

РУДЫ И ОКОЛОРУДНЫЕ ПОРОДЫ ДЖАУРСКОГО ВОЛЬФРАМОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В. К. ФИНАШИН

Джаурское вольфрам-полиметаллическое месторождение расположено в северном Сихотэ-Алине в верховьях р. Джаур, левого притока р. Хунгари. Изучение его представляет особый интерес, поскольку оно является первым месторождением скарнового типа в районах северного Сихотэ-Алиня. Кроме того, Джаурское месторождение принадлежит к категории немногочисленных, но весьма важных для понимания генезиса скарнов месторождений скарнового типа, лишенных связи с известняками.

Бассейн р. Джаур находится в области погружения Центрально-Сихотэ-Алиньского антиклинория, протягивающегося от залива Петра Великого на юге Приморья до бассейна р. Хунгари на севере.

По рудным полезным ископаемым район является перспективным на олово, вольфрам и, может быть, киноварь.

Район расположен на продолжении Центрально-Сихотэ-Алиньского рудного пояса (по М. И. Иициксону). Особенностью положения рассматриваемой территории является то, что Центрально-Сихотэ-Алиньский рудный пояс вследствие погружения контролирующего его Центрально-Сихотэ-Алиньского поднятия непосредственно на территории района сливается с окаймляющим его с востока водораздельным рудным поясом.

Анализ сведений о размещении рудопроявлений олова и вольфрама в бассейне р. Джаур и на смежных территориях позволяет выделить полосу, наиболее насыщенную рудопроявлениями и имеющую свою отличную металлогеническую характеристику. Эту полосу, являющуюся частью Центрально-Сихотэ-Алиньского рудного пояса, назовем Джаурской.

Джаурская олово-вольфрамовая полоса рудопроявлений включает Джаурское вольфрам-полиметаллическое месторождение, а также ореолы рассеяния олова и вольфрама в бассейнах рек Большие и Малые Эртыкули, Светлой и Ивановки. Эта полоса хорошо прослеживается и за пределами района — к юго-западу в бассейне рр. Анюй и Хор, где на ее продолжении расположены рудопроявления Богбасу, Куптурку (олово и вольфрам), Совиный (молибден) и еще далее на юго-запад — участки Томчи, Сооли и Кадади (олово и вольфрам).

Рудопроявления здесь отличаются: частой ассоциацией вольфрамита и касситерита; связью рудопроявлений (пространственной и гене-

тической) с малыми интрузиями гранитоидов; наличием признаков зонального распределения минерализации вокруг интрузий (Кадади); преобладанием грейзеновского типа минерализации (Совиный, Кадади, Сооли и др.), т. е. обнаруживают отчетливые признаки месторождений кварцево-касситеритовой формации. В периферических частях рудных ореолов появляются иногда жильные рудные тела сульфидно-касситеритового типа (месторождение Кадади). Однако проявления сульфидно-касситеритовой минерализации, пространственно сопряженной с минерализацией кварцево-касситеритового типа, имеют, по-видимому, подчиненный характер. Во всяком случае проявлений такой минерализации крупного масштаба в пределах Центрально-Сихотэ-Алиньского пояса до сих пор не обнаружено.

Отчетливо выраженный кварцево-касситеритовый характер минерализации, развитой в пределах зоны, создает благоприятные условия для образования (в подходящей геоморфологической обстановке) россыпных месторождений касситерита.

Рудопроявления бассейна р. Джаур, хотя и продолжают полосу рудопроявлений, контролируемую зоной Центрально-Сихотэ-Алиньского поднятия, но располагаются уже в существенно иной структурно-фациальной обстановке. Эти рудопроявления находятся в области отчетливого погружения Центрально-Сихотэ-Алиньского поднятия, т. е. мезозойского прогиба, окаймляющего с севера область поднятия, поэтому наряду с некоторыми чертами металлогении, унаследованными от области Центрально-Сихотэ-Алиньского поднятия (большая роль вольфрама), здесь проявляются в новых условиях и специфические черты менее глубинных фаций минерализации. Наряду с появлением скарновых месторождений (Джаурское), эту область следует рассматривать как перспективную и для поисков других типов месторождений сульфидно-касситеритовой формации.

В этой связи следует критически отнестись к представлениям о бесперспективности северных районов Сихотэ-Алиня в отношении возможности обнаружения здесь месторождений скарнового типа. Открытие Джаурского скарнового месторождения в известной мере опровергает эти представления и заставляют учитывать возможность обнаружения в районе скарновых месторождений как в известняках, являющихся наиболее благоприятной средой для формирования месторождений этого типа, так и в более инертных породах типа основных эффузивов.

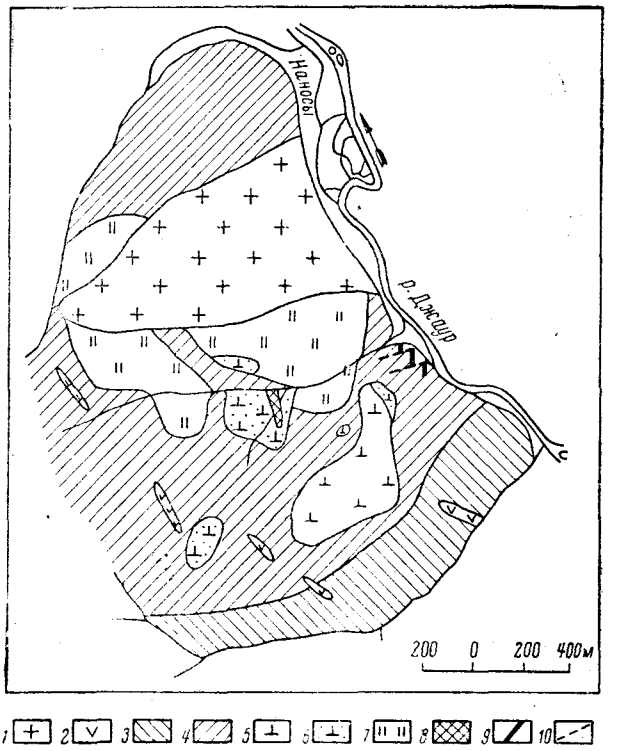
Геологическое строение месторождения. Джаурское месторождение расположено на крыле крупной синклинали, сложенной в основном нижнеюрскими песчано-сланцевыми отложениями. В пределах рудного поля месторождения развиты нижнеюрские осадочные образования (алевролиты с подчиненными прослоями глинистых сланцев и мелкозернистых песчаников), прорванные небольшой интрузией нижнепалеогеновых кварцевых диоритов, дайками гранит-порфиров и штоками диабазовых порфиритов (рис. 1).

Внедрение интрузии кварцевых диоритов вызвало интенсивный метаморфизм осадочных пород, среди которых по степени и характеру метаморфизма выделяются три зоны: а) внешняя зона филлитовых сланцев и метаморфизованных алевролитов и песчаников; б) средняя зона роговиков (биотитовых, гранато-биотитовых, серицито- и мусковито-биотитовых и хлорито-серицито-биотитовых); в) внутренняя прерывистая зона микрокварцитов.

Полное отсутствие явлений переплавления в приконтактовой интрузии кварцевых диоритов, отсутствие пегматитов, резко выраженные порфировидная структура и зональность плагиоклазов, а также связь с ин-

трузией скарновых рудопроявлений указывают на гипабиссальные условия ее формирования.

Трещинная тектоника на месторождении проявилась в образовании дорудных трещиноватых зон северо-северо-западного простирания, близкого к меридиональному, служивших путями поступления скарнирующих и рудных растворов, и серии пострудных нарушений, близких по направлению к широтным, разбивающих главное рудное тело на ряд разобщенных тектонических блоков.



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Рис. 1. Схема геологического строения Джаурского месторождения (по В. К. Финашину):

1 — кварцевые диориты; *2* — кварцевые порфиры; *3* — филлитовидные сланцы, метаморфизованные алевролиты и мелкозернистые песчаники; *4* — роговики; *5* — диабазовые актинолитизированные порфириты; *6* — скарнированные диабазовые порфириты с вкрапленностью пирротина; *7* — микрокварциты; *8* — зона вкрапленного медноцинкового оруденения Западного участка; *9* — рудные тела Владимирского участка; *10* — пострудные нарушения

Условия залегания и форма рудных тел. На месторождении выделяются два пространственно разобщенные рудные участка — Владимирский и Западный (см. рис. 1).

На Владимирском участке рудное тело, сложенное кварцево-вольфрамито-шеелитовыми рудами, имеет форму крутопадающей крупной линзы. Оруденение приурочено к контакту диабазовых порфиритов с серицито-биотитовыми роговиками (рис. 2). Вдоль контактов серицито-биотитовые роговики превращены в микрокварциты, а диабазовые порфириты скарнированы и несут вкрапленность сульфидов, преимущественно пирротина. Рядом поперечных нарушений рудное тело разбито на отдельные тектонические блоки. Амплитуда перемещений блоков

в горизонтальном направлении 40—60 *м*. Вдоль контакта диабазовых порфиритов с рудным телом и вдоль поперечных нарушений развиты зоны дробления, заполненные поздними минеральными продуктами: кальцитом и хлоритом с вкрапленностью галенита, халькопирита и станнина. На северо-запад кварцево-вольфрамовые руды сменяются окварцованными пироксеновыми и гранат-пироксеновыми скарнами с вкрапленностью сульфидов и шеелита. Линзы и гнезда таких же скарнов наблюдаются и в скарнированных порфиритах в стороне от контакта.

На Западном участке развито бедное вкрапленное медно-цинковое оруденение, приуроченное к скарнированным диабазовым порфиритам и вытянутое полосой на северо-запад. Оно, очевидно, контактируется системой дорудных трещин и отдельных зон дробления северо-западного простирания.

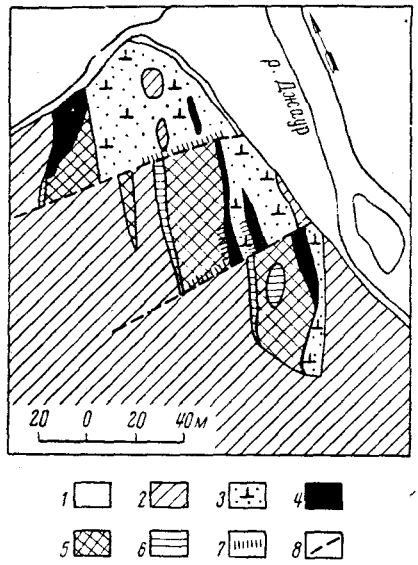


Рис. 2. Геологический план Владимирского участка (по А. В. Демину и В. К. Финашину):

1 — аллювий; *2* — роговики; *3* — скарнированные диабазовые порфириты с вкрапленностью пирротина; *4* — скарны; *5* — кварцево-вольфрамито-шеелитовые руды; *6* — микрокварциты; *7* — карбонатизация; *8* — пострудные нарушения

Минералогия. Изучение вещественного состава руд месторождения сопряжено с рядом трудностей, так как значительная часть руд, особенно на Владимирском участке, относится к окисленным. Правда, благодаря неравномерному характеру процесса окисления, связанному с наличием участков вечной мерзлоты и большой скоростью эрозии в обрывистых береговых обнажениях, часто удается обнаружить первичные руды хорошей сохранности.

Основное внимание, естественно, и было обращено на эти участки первичных руд. При изучении их минералогического состава широко применялись методы петрографического и минераграфического исследований в шлифах, метод спектральных анализов руд и отдельных минералов, а также были использованы результаты многочисленных минералогических анализов протолочек руд и бороздовых проб.

В настоящее время на месторождении установлены следующие минералы[1]:

I. Самородные элементы: 1) золото; 2) висмут самородный; 3) сера самородная.

II. Сульфиды: 4) галенит; 5) сфалерит; 6) пирротин; 7) халькопирит; 8) станнин; 9) кубанит; 10) валлериит; 11) борнит; 12) ковеллин; 13) висмутин; 14) молибденит; 15) пирит; 16) марказит; 17) арсенопирит.

III. Галогениды: 18) флюорит.

IV. Окислы и гидроокислы: 19) гематит; 20) магнетит; 21) рутил; 22) брукит; 23) анатаз; 24) касситерит; 25) кварц; 26) лепидокрокит; 27) лимонит; 28) гидроокислы марганца.

V. Оксисоли.

[1] Расположение минералов соответствует классификации, принятой А. Г. Бетехтиным (Курс минералогии. Госгеолиздат, 1950).

Таблица 1

Гипогенные минералы						Супергенные минералы		
рудные			нерудные					
главные	второстепенные	редкие	главные	второстепенные	редкие	главные	второстепенные	редкие
1) Пирротин	6) Галенит	15) Золото	22) Кварц	27) Кальцит	32) Флюорит	35) Лимонит	38) Гидроокислы марганца	42) Сера
2) Сфалерит	7) Висмут	16) Висмутин	23) Геденбергит	28) Апатит	33) Циркон	36) Марказит	39) Церуссит	43) Борнит
3) Халькопирит	8) Станнин	17) Молибденит	24) Гранаты	29) Клиноцоизит	34) Турмалин	37) Пирит	40) Базобисмутит	44) Ковеллин
4) Шеелит	9) Кубанит	18) Арсенопирит	25) Актинолит	30) Биотит			41) Англезит	45) Лепидокрокит
5) Вольфрамит	10) Валлериит	19) Гематит	26) Серицит	31) Хлорит				46) Малахит
	11) Сфен	20) Магнетит						47) Вульфенит
	12) Рутил	21) Касситерит						48) Скородит
	13) Анатаз							
	14) Брукит							

Карбонаты: 29) кальцит; 30) церуссит; 31) малахит; 32) базобисмутит.

Сульфаты: 33) англезит.

Вольфраматы: 34) вольфрамит; 35) шеелит; 36) вульфенит.

Фосфаты и арсенаты: 37) апатит; 38) скородит.

Силикаты: 39) циркон; 40) гранаты; 41) сфен; 42) клиноцоизит. 43) турмалин; 44) геденбергит; 45) актинолит; 46) биотит; 47) серицит; 48) хлорит.

Сведения о распространении этих минералов отражены в табл. 1

Текстура и структура руд. Текстуры первичных руд Джаурского месторождения довольно однообразны. Среди них можно выделить следующие текстуры: массивную, вкрапленную, прожилковую и прожилково-вкрапленную, брекчиевидную и атакситовую. Для окисленных руд характерны каверновые, ячеистые, пористые, порошковатые и землистые текстуры. Наблюдающиеся в первичных рудах структуры показаны в табл. 2.

Таблица 2

Структура кристаллизации минералов из жидких растворов		Структура распада твердых растворов
зернистая	коррозионная	
Аллотриоморфнозернистая	Краевых каемок	Эмульсионная
Порфировидная	Петельчатая	Пластинчатая
Пойкилитовая	Реликтовая (остатков от замещения)	Петельчатая
Интерстициальная	Субграфическая	

Зернистая структура отложения характерна для скоплений мономинеральных агрегатов сульфидов, в которых при скрещенных николях или путем структурного травления часто выявляется типичная аллотриоморфнозернистая структура (в полях пирротина, сфалерита, халькопирита). Реже вследствие неравномернозернистости этих агрегатов структура может быть названа порфировидной.

Пойкилитовая структура обычна для галенита, содержащего пойкилитовые вростки зерен самородного висмута.

Интерстициальная структура распространена в кварцево-вольфрамито-шеелитовых рудах, так как вольфрамит и шеелит содержатся чаще в промежутках зерен кварца.

Вследствие широко развитых в рудах месторождения процессов замещения наибольшим распространением пользуются все же коррозионные типы структур. Очень широко развита, в частности, структура краевых каемок. Подобный структурный рисунок характеризует, например, взаимоотношения пирротина и сфалерита, халькопирита и станнина. При этом минерал, выделяющийся позднее, обособляется на границе зерен ранее выделившегося рудного минерала с нерудными. Замещение раннего минерала более поздним идет от периферии к центру. Можно иногда проследить переходы от этой структуры к структуре остатков от замещения (реликтовой), когда ранний минерал оказывается почти нацело замещенным и остается в виде неправильных разъеденных остатков зерен в массе замещающего минерала. Замещающий минерал нередко использует направления спайности замещаемого минерала (проникновение галенита в пирротин), трещинки в раннем минерале, включения нерудных минералов в полях раннего минерала (последнее очень характерно для вольфрамита) и т. д.

Более редки структуры петельчатого замещения (вольфрамита шеелитом, пирротина марказитом) и субграфические.

Наконец, для высокотемпературных ранних сульфидов (сфалерит, халькопирит 1) характерны структуры распада твердых растворов. Это прежде всего различные виды эмульсионных структур: беспорядочная эмульсионная, кристаллографическая эмульсионная, звездчатая, пластинчатая (кубанит в халькопирите) и петельчатая.

Для супергенных минералов характерны структуры: петельчатая, решетчатая, пластинчатая, почковидная и зональная колломорфная, реликтовая и др.

Типы руд. Изучение вещественного состава руд и условий их пространственного размещения позволяет выделить следующие типы руд.

1. Вкрапленные сфалеритовые руды с пирротином и шеелитом образовались в ранней стадии рудного процесса. Текстура их вкрапленная, реже брекчиевидная. Вкрапленные руды встречаются как в скарнах, так и в скарнированных порфиритах. Главными рудными минералами являются сфалерит и пирротин. В подчиненном количестве присутствуют халькопирит, самородный висмут и шеелит. Из нерудных минералов преобладает кварц, в небольшом количестве отмечаются биотит, клиноцоизит и реже апатит. Из ранних минералов, подвергшихся более или менее полному замещению, постоянно присутствуют скарновые минералы.

На Западном участке руды этого типа характеризуются промышленным содержанием цинка. Остальные элементы содержатся в количествах, значительно ниже принятых в настоящее время промышленных кондиций.

2. Кварцево-вольфрамито-шеелитовые руды известны только на Владимирском участке. Образуются они при метасоматическом замещении скарнов и, возможно, скарнированных порфиритов, о чем свидетельствуют незамещенные остатки скарновых минералов и актинолита в кварце. Главными рудными минералами являются вольфрамит и шеелит. Шеелит развивается по вольфрамиту, вероятно, вследствие наложения поздних этапов минерализации. В небольших количествах присутствуют также сфен и, что более характерно, рутил, анатаз и брукит. Главными нерудными минералами являются кварц и серицит, флюорит редок. Кварц часто переполнен включениями идиоморфных кристаллов апатита.

Руды этого типа имеют наибольшую промышленную ценность.

3. Карбонатно-галенитовые руды встречены на Владимирском участке, где они приурочены к поздним зонам дробления и брекчирования в скарнах и кварцево-вольфрамовых рудах. В количественном отношении они резко подчинены первым двум типам руд. Главным рудным минералом является галенит с включениями самородного висмута. В подчиненном количестве присутствует халькопирит и реже станнин. Нерудные минералы представлены кальцитом, хлоритом и незамещенными остатками скарновых минералов и кварца.

Руды характеризуются промышленным содержанием свинца, но запасы их весьма ограничены.

4. Руды сложного состава ограниченно распространены на Владимирском участке. Образование их связано с последовательным наложением нескольких фаз минерализации с привносом все новых и новых рудных компонентов. Особенно показательны в этом отношении линзы и гнезда богатых сульфидных руд с шеелитом и вольфрамитом в лежачем боку линзы кварцево-вольфрамитовых руд Владимирского участка. Вследствие наложения всех четырех этапов гипогенной минерализации они характеризуются сложным минералогическим составом и высоким

содержанием цинка, свинца и вольфрама. Однако, ввиду небольших размеров и малого распространения подобных линз и гнезд, запасы этих руд невелики.

Строго говоря, к этой группе следовало бы отнести и руды второго и третьего типов, которые, вероятно, никогда не проявляются в чистом виде, а накладываются на минерализованные ранними фазами оруденелые породы.

Околорудные породы. Наиболее ранним по времени и одним из наиболее интенсивных процессов изменения вмещающих пород на месторождении является процесс образования скарнов.

По минералогическому составу на месторождении могут быть выделены гранатовые, гранато-пироксеновые и пироксеновые скарны. Наиболее распространены гранато-пироксеновые и пироксеновые скарны.

При микроскопическом изучении скарнов выделяются три генерации гранатов.

Гранат I — ранний — отличается изотропностью и слабой буровато-серой окраской в шлифах. Он замещается пироксенами и сечется прожилками пироксенов. Состав его, по-видимому, близок к гроссуляру.

Гранат II в шлифах обнаруживает резко выраженную аномалию оптических свойств, благодаря которой выявляются зональное строение кристаллов, двойники и иногда секториальное угасание. Взаимоотношения граната II с пироксенами противоречивы. По-видимому, они выделяются примерно на равном отрезке времени.

Гранат III образует прожилки, секущие пироксеновые и гранато-пироксеновые скарны.

По показателям преломления (гранат II, $N = 1{,}82$, гранат III, $N = 1{,}92$) гранаты II и III, очевидно, принадлежат андрадиту.

По данным спектральных анализов, гранаты II и III обнаруживают относительное богатство элементами-примесями. Особенно интересно присутствие в гранатах Sn, Cu, Zn, W, т. е. тех элементов, которые концентрируются в рудах в более поздние этапы минерализации.

Гранат II отличается присутствием Ti, W, Ga, Zr, в то время, как в составе граната III обнаружены Ge, Bi, La, V, Pb, отсутствующие в гранате II. Эти различия связаны, вероятно, с некоторым изменением состава минералообразующих растворов во времени.

Пироксен скарнов по составу является мангангеденбергитом. По данным спектральных анализов, он содержит примеси Mg, Na, Al, Sn, Ge, Zn, Pb и следы Ag, Co и Ni.

Зоны скарнов окаймляются полосами скарнированных диабазовых порфиритов с новообразованиями моноклинного пироксена ряда диопсид-геденбергит. Такие зоны скарнированных порфиритов иногда развиваются и самостоятельно там, где интенсивность метасоматических процессов была, очевидно, недостаточной для превращения порфиритов в сплошные скарны (Западный участок). Околоскарновые породы, развивающиеся в периферических участках скарновых зон, представлены актинолитизированными диабазовыми порфиритами, причем по мере удаления от зон активной циркуляции растворов почти бесцветный актинолит сменяется нормально зеленым.

Такое поясовое расположение зон измененных пород автор склонен связывать с постепенным падением температуры, а возможно, концентрации и состава скарнирующих растворов при движении их по порам и трещинам во вмещающих диабазовых порфиритах (метасоматическая зональность).

Диабазовые порфириты, за счет которых происходит образование скарнов, в сравнении со скарнами характеризуются резким дефицитом

кальция и железа. В упрощенной схеме процесс скарнирования можно представить как замещение первичного плагиоклаза порфиритов геденбергитом в скарнах и актинолитом в околоскарновых породах. При этом некоторая часть кальция заимствуется из анортитовой молекулы плагиоклаза (в данном случае — лабрадора). Однако этого кальция недостаточно для построения молекул скарновых минералов. Недостающее количество кальция привносится скарнирующими растворами. О привносе кальция свидетельствуют и такие факты, как сфенизация скарнированных порфиритов и околоскарновых пород и отсутствие явлений альбитизации в скарнированных порфиритах. Это возможно только в том случае, если растворы содержали кальций в такой концентрации, которая оказывалась достаточной и для перевода ильменита в сфен, и для поддержания на прежнем уровне степени насыщения плагиоклаза анортитовым компонентом.

В полях развития околоскарновых актинолитизированных порфиритов встречаются ограниченные участки биотитизированных порфиритов, где ильменит свежий или слабо затронут процессом лейкоксенизации. Биотитизация порфиритов, очевидно, вызывалась «отработанными» растворами с низкой концентрацией кальция, которая была недостаточной для образования кальциевых силикатов типа актинолита и сфена.

Железо же, вероятно, заимствовалось из вмещающих пород. Часть железа освобождалась при сфенизации ильменита, а часть, по-видимому, поставлялась темноцветными компонентами порфиритов.

При процессах скарнирования диабазовых порфиритов должны выноситься натрий и алюминий. Вынос, очевидно, совершается в форме алюминатов, что предполагает щелочной характер среды. Характерной особенностью скарнирующих растворов является их высокая проникающая способность, в связи с чем изменения диабазовых порфиритов охватывают практически всю площадь их развития, хотя интенсивность этих изменений и различна. Эти особенности объясняются щелочным характером растворов, так как в этом случае растворы сохраняют высокую реактивную способность при продвижении во вмещающих породах.

Изменение вмещающих пород в течение кварцево-сульфидной стадии рассмотрим по этапам.

1. Шеелито-сфалеритовый этап. Околорудные изменения выражаются в образовании широких ореолов окварцевания и пирротинизации в диабазовых порфиритах. В гораздо меньшей степени подвержены изменениям метаморфизованные осадочные породы. Выделения пирротина в диабазовых порфиритах обычно приурочены к новообразованиям пироксена и актинолита. Это объясняется, очевидно, тем, что железо, необходимое для образования пирротина, заимствовалось из кальциево-железистых силикатов. Окварцевание и пирротинизация значительно осветляют диабазовые порфириты. Такие зоны осветленных пород являются хорошим поисковым признаком.

2. Кварцево-вольфрамитовый этап. Околорудные изменения диабазовых порфиритов выражены слабо. К этому этапу, по-видимому, относится лишь небольшое окварцевание и серицитизация скарнов и диабазовых порфиритов на контакте с кварцево-вольфрамовыми рудами. В противоположность скарнам и диабазовым порфиритам, метаморфизованные осадочные породы на контакте с рудным телом Владимирского участка сильно изменены и превращены в микрокварциты. В микрокварциты превращены и отдельные ксенолиты роговиков внутри рудного тела (см. рис. 2).

По структуре и составу эти микрокварциты совершенно аналогичны микрокварцитам первой метаморфической зоны, примыкающей к квар-

цевым диоритам. Образование этих микрокварцитов также логично связывать с гидротермальной переработкой роговиков среднетемпературными гидротермальными растворами. Процесс шел в направлении общего окварцевания породы с выносом кальция, магния, большей части щелочей, иногда и алюминия из зоны реакций.

В этом свете становится понятным развитие микрокварцитов не в виде сплошной полосы, окаймляющей диориты, а в виде отдельных ореолов, фиксирующих зоны наиболее интенсивного гидротермального метаморфизма роговиков. В связи с этим районы развития микрокварцитов следует рассматривать как перспективные для поисков слепых, возможно неглубоко залегающих рудных тел, аналогичных рудной линзе Владимирского участка.

Эти соображения подкрепляются результатами геофизических работ, которыми в участках развития микрокварцитов установлено наличие крупных аномалий магнитного и естественного электрического полей, близких по интенсивности аномалиям района Владимирского участка. По расчетам геофизиков, рудные тела, вызывающие аномалии, залегают на небольшой глубине (первые десятки метров) от поверхности.

С поровым проникновением гидротермальных растворов кварцево-вольфрамитового этапа, возможно, связаны серицитизация и хлоритизация биотитовых роговиков.

3. Карбонатно-галенитовый этап. Гидротермальные изменения выражаются в хлоритизации и карбонатизации. Типичных околорудных пород не образуется, так как изменения в лучшем случае захватывают лишь области распространения руд.

Генезис. Процесс формирования Джаурского месторождения, как это обычно и наблюдается в скарновых месторождениях, является длительным и многоэтапным с резким изменением характера и состава рудоносных растворов. Причиной такого развития, очевидно, является пульсирующее отделение послемагматических растворов рудоносным очагом, сопряженное с пульсирующим во времени развитием трещиноватости.

Рассмотрим основные особенности отдельных этапов гипогенного минералообразования (рис. 3).

1. Скарновый этап отличается существенно газовыми растворами со щелочной реакцией. Температура их колеблется от 800—700° в начале этапа до 500—400° к концу.

В этот этап в диабазовых порфиритах образуются скарновые зоны, состоящие из геденбергита и граната. Растворы приносят значительное количество кальция, железо же заимствуется из вмещающих пород. Газовые растворы приносят небольшое количество W, Sn, Cu, Zn, Pb, Bi, Ag, Mn, Ga, Ge и других элементов, входящих в качестве примесей в состав скарновых минералов. Возможность самостоятельного образования сульфидов и окислов этих элементов ограничена как низкой концентрацией их в растворах, так и преимущественно неблагоприятным режимом серы и кислорода. Наличие в ранних минералах многих из тех элементов, которые в поздние этапы минерализации дают самостоятельные минеральные скопления, свидетельствует о существовании генетической связи, единого источника скарнирующих и поздних минералообразующих растворов. На периферии скарновых зон диабазовые порфириты подвергаются актинолитизации. Образование актинолита объясняется падением температуры скарнирующих растворов при проникновении их в охлажденные вмещающие породы.

2. Шеелито-сфалеритовый этап — высокотемпературный этап гидротермальной деятельности, с которым связано начало окварцевания

скарнов и скарнированных порфиритов с отложением рудных минералов: шеелита, сфалерита, пирротина, халькопирита и самородного висмута. Формирование руд соответствует по времени смещению рудоносных очагов в глубинные зоны интрузии, когда проникновение газовой

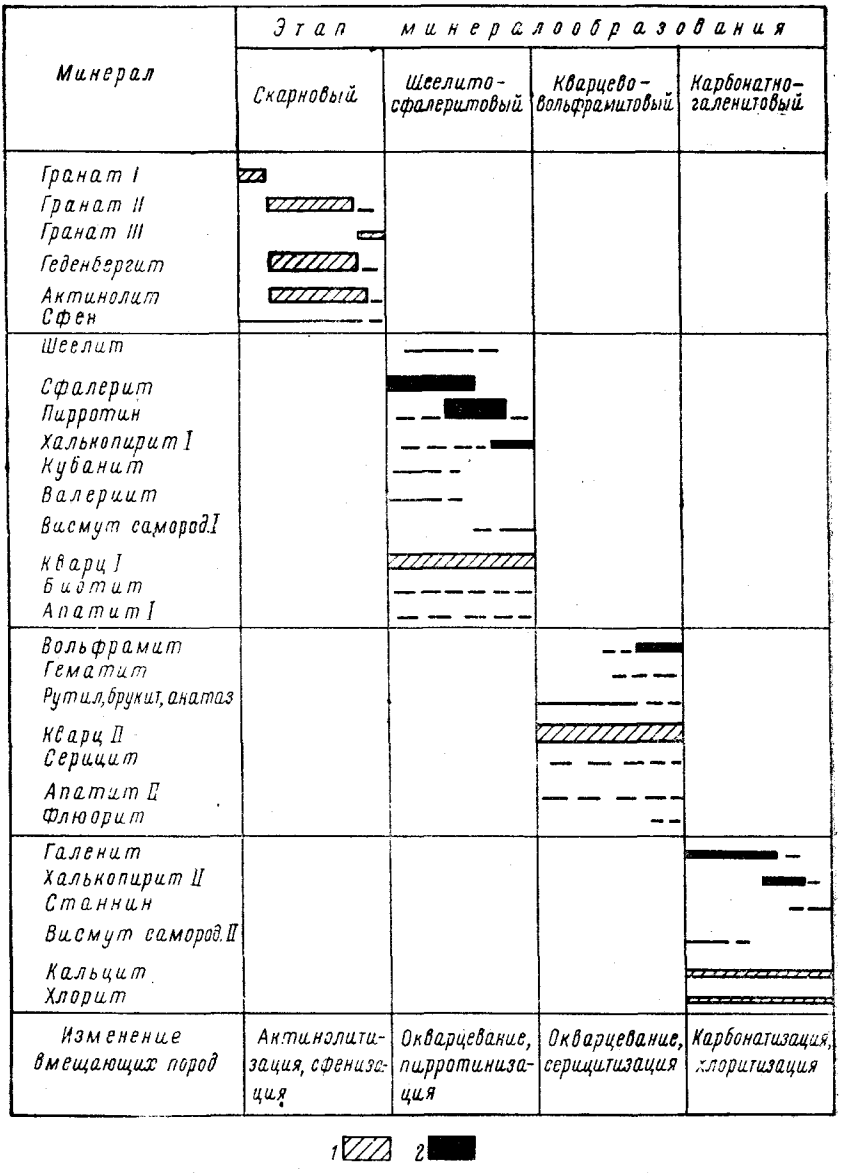


Рис. 3. Схема последовательности минералообразования. Минералы:
1 — нерудные; *2* — рудные

фазы во вмещающие породы сменяется потоком гидротермальных растворов, возникающих при прогрессирующем охлаждении глубоких частей интрузии.

Возобновление тектонических подвижек во вмещающих породах подготавливает структурные пути для движения рудоносных растворов. Эти пути в основном совпадают с путями движения скарнирующих раство-

ров, хотя общая площадь, захваченная изменениями, и сокращается. Отложение рудных минералов происходит на фронте замещения скарновых минералов. Кальций и магний, освобождающиеся при замещении, в основном выносятся, а железо вступает в реакцию с сероводородом с образованием пирротина.

Возможность образования сульфидов обеспечивается тем, что в связи с падением температуры электролитическая диссоциация сероводорода в растворах достигает величин, достаточных для массового отложения сульфидов, однако режим серы недостаточен для образования высокосернистых соединений.

Растворы проникают в породы по мелким трещинам и частично порам. Формирование руд сопровождается образованием широких ореолов изменения в диабазовых порфиритах (окварцевание и пирротинизация). Высокая проникающая способность растворов, образование широких зон вкрапленных руд и отсутствие метаколлоидных структур свидетельствуют о том, что растворы эти были истинными, а не коллоидными.

Перенос металлических компонентов в растворах мог осуществляться в форме хлоридов или фторидов, вступающих в обменные реакции со скарновыми минералами [2]. Например,

$$CaFeSi_2O_6 + ZnCl_2 + 2H_2S = ZnS + FeS + 2SiO_2 + CaCl_2 + 2H_2O.$$

Этим может быть объяснена и тонкая приуроченность выделений сульфидов к скарновым минералам и постоянная их ассоциация с кварцем, высвобождающимся при замещении силикатов. Косвенно на присутствие хлористых и фтористых соединений в растворах указывает образование небольших количеств апатита. Образование шеелита, несколько видоизменяя реакции, предложенные В. В. Щербиной [5] для образования шеелитоносных скарнов в известняках, можно представить следующим образом

$$CaFeSi_2O_6 + WO_2Cl_2 + H_2S = CaWO_4 + FeS + 2SiO_2 + 2HCl.$$

Растворы, по-видимому, имели щелочной характер, так как кислая среда мало благоприятна для отложения сульфидов (препятствует электролитической диссоциации H_2S). Кроме того, если допустить образование шеелита по приведенной выше реакции, то течение реакции слева направо также возможно только в щелочной среде (согласно принципу Ле-Шателье) вследствие выделения сильной кислоты.

3. Кварцево-вольфрамитовый этап соответствует среднетемпературной фазе гидротермальной деятельности. В трещиноватых зонах, наложенных на скарны Владимирского участка, гидротермальные растворы производят окварцевание скарнов, сопровождающееся выносом больших масс кальция, магния и железа, входящих в состав скарновых минералов. Образующийся при замещении мелкозернистый кварц с ростом агрегатов друзового кварца подвергается перекристаллизации. С кварцем ассоциируют вольфрамит, серицит, апатит и очень редко флюорит. Образование вольфрамита вместо шеелита объясняется изменением характера реакции растворов, которые приобретают, по-видимому, слабо кислый, близкий к нейтральному характер. Именно в таких средах реакции серицитизации полевых шпатов идут с осаждением кремнезема [4].

Кислый характер растворов неблагоприятен для отложения сульфида вследствие малой степени электролитической диссоциации сероводородов в кислой среде. Ионы железа, которые расходовались раньше на образование пирротина и других сульфидов, могут оставаться в растворе и тем создавать благоприятные условия для образования вольфра-

мита. Сам факт образования вольфрамита убедительно показывает, что растворы не содержали свободных ионов S^{2-}, в противном случае вследствие высокого сродства железа с серой образование вольфрамита невозможно. Показательно в этом отношении образование шеелита вместо вольфрамита в сульфидных рудах (например, в шеелито-сфалеритовый этап).

Образование вольфрамита можно представить следующим образом

$$CaFeSi_2O_6 + WO_2Cl_2 = FeWO_4 + 2SiO_2 + CaCl_2.$$

Большая насыщенность кварца включениями апатита также как будто подтверждает вынос вольфрама в виде хлоридов типа WO_2Cl_2 или $WOCl_4$.

Особой интенсивностью в этот этап отличаются изменения контактовых роговиков (окварцевание и возможно серицитизация и хлоритизация).

4. Карбонатно-галенитовый этап является заключительным этапом гидротермальной деятельности. Продукты его локализуются вдоль поздних зон дробления в скарнах и кварцево-вольфрамовых рудах Владимирского участка. Существенно меняются состав и характер растворов. Растворы приносят и отлагают свинец (галенит), медь (халькопирит), олово (станнин) и висмут. Основными нерудными минералами являются кальцит и хлорит, развивающиеся по скарновым минералам и серициту. Состав руды и жильного выполнения определенно указывает, что растворы вновь приобретают отчетливо щелочной характер.

При высоких температурах на ранних этапах минералообразования углекислота не принимает участия в процессах рудообразования, так как она представлена электрически нейтральной молекулой, но ее активность резко возрастает на поздних стадиях, когда анион CO_3'' становится сильнее анионов слабых оснований (силикатов), с чем и связано вытеснение и замещение силикатов карбонатами [2].

Итак, основные закономерности развития минерализации Джаурского вольфрам-полиметаллического месторождения свидетельствуют о том, что это месторождение скарново-рудного типа с отложением рудной минерализации в гидротермальную фазу постмагматического процесса, что обычно и наблюдается в типичных скарновых месторождениях. Вместе с тем следует подчеркнуть и такие особенности месторождения, которые выделяют его из ряда обычных скарновых, связанных с известняками: 1) скарнированию подверглись диабазовые порфириты, тогда как карбонатные породы на месторождении отсутствуют; 2) в рудах значительную роль играет вольфрамит, что связано с изменением режима гидротермальных растворов при переходе от скарновой стадии минерализации к кварцево-сульфидной.

Особенности формирования и размещения околорудных пород заставляют обратить особое внимание на поля развития микрокварцитов, где следует ожидать концентрации наиболее благонадежных кварцево-вольфрамовых руд. Участки развития скарнированых диабазовых порфиритов с вкрапленностью пирротина («осветленные порфириты») благоприятны для поисков вкрапленных медно-цинковых руд.

Черты геохимического единства минералов магматической стадии и продуктов рудной минерализации, так же как расположение скарново-рудных тел в контактовом ореоле и особенности минералогического состава и структуры интрузии кварцевых диоритов, позволяют считать оруденение генетически связано с интрузией кварцевых диоритов.

В итоге можно заметить следующие совокупные типы обстановок, благоприятные для поисков месторождений скарнового типа на север-

ном Сихотэ-Алине: 1) общее погружение антиклинория; 2) наличие интрузий повышенной основности (кварцевые диориты, диориты); 3) наличие литологически благоприятных для замещения пород (известняков, порфиритов); 4) наличие тектонически ослабленных, проницаемых участков, обеспечивающих проникновение и локализацию рудных растворов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Х. М. Генетическая связь оруденения с гранитоидными интрузиями. Госгеолтехиздат, 1954.
2. Бетехтин А. Г. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования. Сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд. АН СССР, 1953.
3. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. Сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд. АН СССР, 1953.
4. Шлыгин А. Е. О процессе серицитизации. Сб. научных трудов Каз. горно-металлургич. ин-та, 1954, № 9.
5. Щербина В. В. Формы переноса химических элементов в процессах минералообразования и условия их концентрации. Сб. «Вопросы геохимии и минералогии». Изд. АН СССР, 1956.