

УДК 550.42:550.232

М. А. АРУТЮНЯН

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ
В СКАРНОВЫХ ПОРОДАХ И МИНЕРАЛАХ
КЕФАШЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Кефашенское скарновое медно-молибденовое месторождение приурочено к зоне активного контакта интрузивных пород верхнеэоценового Гехинского массива с карбонатными отложениями пермской системы. Характерные особенности геологического строения интрузива, имеющие двухфазную историю развития, позволили О. П. Гуюмджяну [1] отнести его к центрально-кольцевым интрузивам. Ранняя фаза внедрения массива представлена дифференцированными породами габброидного состава—габбро-норитами, амфиболовыми и ортоклазовыми габбро, диоритами, габбро-монцонитами и монцонитами, слагающими его внешнюю кольцевую часть; породы центрального интрузива имеют более однородный состав и представлены гранодиоритами, которые лишь на небольшом участке, от с. Кефашен до с. Чайкенд, нарушают сплошность кольцевого интрузива и контактируют непосредственно с карбонатными отложениями [2]. Образование пластообразной скарновой залежи, протягивающейся на 1,5 км между сс. Кефашен и Чайкенд, генетически связывается с породами второй фазы, что выражается в пространственном контроле скарнов гранодиоритами центрального интрузива.

Скарны, по В. А. Жарикову [3], представлены пироксен-гранатово-воластокиновой высокотемпературной фацией (500—750°), с метасоматической колонкой, которая при прослеживании от гранодиоритов к вмещающим известнякам имеет следующий вид: гранодиорит-пироксен-плагиоклазовая околоскарновая порода—гранатовый скарн с реликтовыми линзами пироксенового и воластокинового скарнов (размерами до 0,3 м) в краевых зонах—мраготоризованные известняки.

Суммарная мощность скарнов достигает 18 м при преимущественном развитии гранатовой зоны 15—16 м.

Жильно-магматические дериваты в пределах распространения скарновой залежи получили значительное развитие и представлены амфибитами, диабазовыми порфиритами, пироксеновыми и кварц-ропообмащковыми диорит-порфиритами, для которых устанавливается послескарновое образование.

В породах дайковой фации, так же как и во вмещающих их скарнах и гранитоидах эндоконтактной фации, отмечаются участки, несущие медно-молибденовую минерализацию с сопутствующими пиритом, шелифом, гематитом, кварцем, кальцитом, энидотом и актинолитом.

Скарны Кефашена и вмещающие их интрузивные и карбонатные породы (не затронутые процессами гидротермальных изменений или

гистерогенного разложения) характеризуются определенными комплексами химических элементов, имеющих различную историю минерализации и разную степень накопления. Данные рис. 1 демонстрируют распределение элементов-примесей по указанным породам.

В сравнении с кларками элементов для гранитоидов, интрузивные породы района обнаруживают обогащенность Ag, Cu и Mo, в меньшей мере V, Co, Ni и Ga. Вмещающие карбонатные толщи пермского возраста также характеризуются повышенными надкларковыми содержаниями Ag, Cu, Mo и кроме того Be и Ba.

В зависимости от внешних условий скарнообразования в распределении элементов-примесей между породами эндо- и экзоскарновых фаций, в соответствии с их содержаниями в исходных породах (гранодиоритах и известняках), отмечаются значительные расхождения. Это выражается не только в уменьшении содержаний Ti, V, Cr, Ga в экзоскарновых фациях в сравнении с эндоскарновыми, но и в отчетливом выделении элементов, характерных для определенных фаций: Y, Yb, Zr, Li, Sr—в эндоскарнах и Ni, Be, Ba—в экзоскарнах.

Из отмеченных элементов особое положение занимают Ba, Sr и Ge. При более высоком, чем в известняках (0,007%), содержании Ba в интрузивных породах (0,0504%) резонно было бы предположить его распространенность в породах эндоскарновых фаций, тогда как отмечается обратное явление. То же и для Sr, который характеризуется приуроченностью к эндоскарновым породам, хотя содержание его в известняках (0,095%) выше, чем в гранитоидах (0,0547%).

В незначительных количествах (0,0015%) отмечается наличие Ge в эндоскарнах, вне связи с его содержанием во вмещающих породах, что, очевидно, обусловлено спецификой скарнирующих растворов.

Для остальных элементов—Co, Zn, Ag, Sn, Pb устанавливается довольно равномерное распределение между породами эндо- и экзоскарновых фаций.

В распределении элементов-примесей между минералами скарнов определяющее воздействие оказывают законы кристаллохимии, изоморфизма, а также факторы термодинамической системы.

С учетом преимущественного развития гранатовой зоны среди скарновых пород (95%), баланс содержаний элементов-примесей в породах определяется средним содержанием этих элементов в мономинеральных фракциях гранатов. В большинстве случаев отклонения между этими содержаниями невелики: незначительные превышения значений Ti и Cu в породах над их содержаниями в гранатах могут быть объяснены наличием в породе аксессуаров, содержащих эти элементы (магнетит и сульфиды) (табл. 1).

Для более четкого представления о распределении элементов-примесей между минералами скарнов, рассчитывается коэффициент накопления R, который согласно Моксхему (1958) выводится по формуле:

$$R = 1/n \sum_{i=1}^n (k_i/K_i),$$

где k_i —содержание элемента, K_i —содержание данного элемента в атмосфере, а в данном случае среднее содержание во вмещающих породах месторождения; n —число проанализированных элементов; $g_i = k_i/K_i$ —отношение содержания каждого элемента к его содержанию во вмещающих породах.

Рассматриваемые собственно скарновые минералы представлены волластонитом, пироксеном-диопсидом и гранатами, среди которых по окраске, размерам и оптическим свойствам выделяются: 1) медово-желтые, мелкие, гроссуляровые и гроссуляр-андрадитовые гранаты с содержанием гроссулярового компонента до 70%, прозрачные в шлифах, изотропные, ассоциирующие с пироксеном, плагиоклазом, скаполитом (сфеном) и переходящие постепенно в 2) более крупнозернистые (0,5—2,0 мм) кирпично-бурые и красновато-бурые экзоскарновые гранаты с преобладающей долей андрадитового минерала до 80%, которые характеризуются концентрически-зональным строением с анизотропными периферийными оболочками и ассоциируют с салитовым пироксеном, волластонитом и кальцитом; 3) буровато-черные, более поздние и более редкие гранаты (70—85% Ad), образующиеся при андрадитизации скарнов, представлены крупными—до 7—8 см в диаметре, кристаллами с резко выраженной анизотропностью и сложным концентрически-зональным и секториальным строением. Встречаются в ассоциации с собственно скарновым гранатом преимущественно экзоскарновых парагенезисов, кварцем, кальцитом, эпидотом, реже актинолитом и рудными минералами.

В сравнении с вмещающими породами скарны обеднены элементами-примесями, коэффициент накопления их $R=0,31$ ($R_{\text{н.з.в.}}=0,50$ относительно известняков и $R_{\text{гп}}=0,12$ относительно гранитоидов). Наибольший коэффициент накопления R у андрадитовых гранатов—2,25, наименьший—у волластонитов $R=0,06$.

По способности концентрироваться в скарновых минералах, элементы-примеси разделяются довольно четко, при $R > 1$ и в скобках $1 > R > 0,5$

волластонит— ($R_i < 0,5$).

пироксен-диопсид— Zn, Co, (Cr, Ni, Ga).

гроссуляр-андрадит— Y, Yb, Sn, (Ga, Ti, Zr).

андрадит-гроссуляр— V, Sn, (Co).

андрадит— Ga, Yb, Y, V, Co, Ni, Cr (Ti, Zr).

Одним из главных факторов, регулирующих распределение элементов-примесей в минералах, является температура минералообразования. Экспериментальные исследования в области обычных температур, проведенные Л. Н. Овчинниковым [7], показывают, что коэффициент инфильтрации элементов при повышении температуры на 1°C увеличивается на 2,6%, растет концентрация элементов в растворе и повышается его подвижность. Очевидно, сравнительную обогащенность андрадитов элементами-примесями можно объяснить тем, что с пониже-

Средние содержания элементов-прим

Средние содержания элементов	Названия пород и минералов	Количество анализов	Элементы группы железа					Cu	Zn
			Ti	V	Cr	Co	Ni		
	Скарны	17	0,198	0,013	0,00018	0,00045	0,00004	0,0025	0,0001
	Волластониты	12	0,002		0,0009	0,0002	—	0,00001	0,00015
	Пироксены (диопсид)	8	0,10	0,003	0,0015	0,003	0,0009	0,002	0,03
	Гроссуляры	23	0,19	0,002	0,0003	0,0005	0,0005	0,00047	0,0001
	Анрадит-гроссуляры	18	0,095	0,015	0,0004	0,00075	0,0006	0,00047	0,00015
	Анрадиты	13	0,19	0,095	0,002	0,0009	0,0047	0,0005	0,0008

Таблица 1

Содержание элементов в скарновых породах и минералах скарнов

Металлические элементы					Редкие элементы			Малые петрогенные элементы			
Ca	Ge	Ag	Sn	Pb	Y	Yb	Zr	Li	Be	Sr	Ba
0,0017	0,00015	0,00003	0,00038	0,0001	0,0003	0,00003	0,00035	0,00005	0,0001	0,0003	0,0002
	—	0,00001	0,0001	0,0001	—	—	—	—	—	0,0015	—
0,0015	0,0001	0,00001	0,0001	0,0002	—	—	—	0,00002	—	—	—
0,0025	0,00025	0,00003	0,00035	0,0001	0,0015	0,0017	0,0055	0,00005	—	0,003	—
0,001		0,00003	0,00038	0,0001	—	—	—	—	0,0012	—	0,0015
0,021		0,00001	—	0,00015	0,0075	0,0018	0,005	—	—	0,001	—



натов скарновой зоны Кефашена выявили небольшие колебания содержания Си, и лишь в единичных случаях в незначительных количествах отмечалось наличие W и Mo. Перекристаллизованные гранаты, отобращенные из зоны оруденения, характеризуются повышенными содержаниями указанных элементов, к которым добавляется и Bi.

Таблица 2
Содержание W, Mo, Си и Bi в гранатах зоны оруденения

Элемент-примесь	Среднее содержание элемента в гранатах, $\cdot 10^{-4} \%$	Содержание элемента в гранатах зоны оруденения ($\cdot 10^{-4} \%$)				
		1р	1р ^а	2р	3р ^а	4р ^б
W		3	3,5	20	150	80
Mo		4,0	4,0	5,0	4,0	7,0
Си	70,0	250,0	280,0	400,0	90,0	75,0
Bi		150	70	100	3	—

В поперечном разрезе скарновой залежи, согласно данным металлометрического обробования, наблюдается зональное распределение медно-молибденовой минерализации, представленной: 1) кальцит-халькопирит (эпидот-кварц, миприт); 2) кварц-молибденит (шеелит, актинолит) парагенными комплексами минералов. Минералы первого комплекса с большой частотой обнаруживаются в эндоконтактовых фациях скарнов; для медной минерализации более характерны экзоскарновые зоны, сравнительно обогащенные железом.

Согласно Д. С. Коржинскому [5] разобщенность медного и молибденового оруденения на примере Турьинских скарновых месторождений меди объясняется тем, что при прохождении растворов, несущих медь, молибден и серу, через скарновые породы, в экзоскарновых фациях, железо гранатов андрадитового состава связывается с медью и серой в виде миприта и халькопирита, осаждающихся в интерстициях между кристаллами перекристаллизованного граната, либо в виде псевдоморфоз замещения. Концентрация серы понижается, и осаждение молибденита не имеет места. В эндоконтактовых зонах скарнов, сравнительно обедненных железом, миприт и халькопирит не отлагаются в существенном количестве, и сера, оставаясь неиспользованной, соединяется с молибденом.

Эти данные подтверждаются тем, что отложение халькопирита вызывает интенсивную перекристаллизацию гранатового скарна, с укрупнением отдельных индивидов до 1 см в диаметре, тогда как отложение молибденита очень часто подобных явлений не вызывает. Очевидно, что железо, высвобождающееся при перекристаллизации гранатов, идет на постройку миприта и халькопирита.

Кроме того, характерной особенностью гранатов, взятых из зоны оруденения, является то, что гранаты, ассоциирующие с молибденитом

(шеелитом), характеризуются повышенными содержаниями Си; гранаты, парагенетически связанные с халькопиритом, наоборот, выделяются содержаниями W, и лишь в незначительной степени Mo.

В соответствии с исследованиями Кутины и Д. Шоу [8] незакономерные колебания содержания элементов в минералах, как в данном случае меди и вольфрама, могут быть объяснены абсорбцией элемента на поверхности, или в дефектах решетки минерала, либо связаны с контаминацией инородных минералов, захваченных при росте кристалла.

Выяснение формы вхождения элементов-примесей в составе минерала, является предметом специального изучения и вследствие недостаточности данных не представляется возможным. Однако, незначительная дисперсия концентраций молибдена в гранатах зоны оруденения приводит к выводу о возможности абсорбции гранатом молибдена в атомном масштабе—в виде иона Mo^{4+} , либо комплекса (MoO_4^{2-}) , тогда как для меди и вольфрама более очевидно их вхождение в минерал в виде микровключений шеелита и халькопирита.

Обобщая вышесказанное относительно распределения элементов-примесей в скарновых породах и минералах Кефашенского скарнового медно-молибденового месторождения, можно сделать следующие выводы.

1. Распределение элементов-примесей в скарновых породах Кефашена, представленных преимущественно гранатовой зоной, носит неравномерный характер и обусловлено вещественным составом среды скарнообразования и пространственной дифференциацией элементов в растворе, связанной с анизотропностью физико-химических параметров раствора.

2. Неравномерность распределения элементов-примесей между минералами скарновых пород, кроме вышеотмеченных причин, обусловлена постепенным понижением температуры от передних рядов метасоматической колонки к заключительным, что оказывается на подвижности структурообразующих компонентов и связанных с ними кристаллохимических элементов-примесей.

3. Немалую роль играют законы кристаллохимии и изоморфизма, в связи с чем отмечается обогащенность определенных минералов отдельными элементами (Со и Zn для лироксена).

Наложение гидротермального оруденения на скарповую залежь вследствие преобладающей роли процессов избирательного метасоматического замещения обуславливает зональное распределение рудных компонентов, что находит отражение и в ассоциирующих с ними минералах.

Մ. Ա. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ՔԵՅԱՇԵՆԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՍԿԱՌԵԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐՈՒՄ
ԵՎ ՄԻՆԵՐԱԼՆԵՐՈՒՄ ԽԱՌՆՈՒՐԴ-ՏԱՐՐԵՐԻ
ՏԵՂԱՐԱՇԽՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ**

Ա մ փ ո փ ու ը մ

Խառնուրդ-տարրերի տեղաբաշխումը Քեֆաշենի սկառնային ապարներում անհամաչափ բնույթ է կրում և պայմանավորված է միջավայրի նյութական վաղմուժ, որի հետևանքով սկառների էնդոկոնտակտային ֆացիաներում անջատվում են հետևյալ տարրերը՝ Y, Yb, Zr, Li, Sr (Ti, V, Cr, Ga), որոնք բնորոշ են զրանոդիորիտների համար, իսկ էկզոկոնտակտային սկառներում՝ Be և Ba:

Վերոհիշյալ օրինաչափությունից առանձին շեղումները Ba, Ge և Sr համար բացատրվում են լուծույթներում տարրերի դիֆերենցումով:

Տարրերի անհամաչափ տեղաբաշխումը սկառնային ապարների միներալներում, բացի նշված պատճառներից, պայմանավորված է նաև մետասոմատիկ սյունյակի առաջնային շարքերից դեպի սահմանափակողները անցնելիս ջերմաստիճանի աստիճանական նվազմամբ, որն անդրադառնում է ստրուկտուրա առաջացնող կոմպոնենտների և նրանց հետ բյուրեղաբխման կապված խառնուրդ-տարրերի շարժունակության վրա: Դրանց հետ կապված, նկատվում է որոշակի տարրերով հարստացված միներալներ (Co և Zn՝ պիրրոսեններում և Ga՝ գրանատներում):

Պղինձ-մոլիբդենային հանքայնացման վրադրման դեպքում նկատվում է հանքային կոմպոնենտների զոնալ տեղաբաշխում, որը բնորոշական տեղակալման հետևանք է: Դա իր արտացոլումն է գտնում հանքային միներալների հետ զուգակցվող գրանատներում որոշակի տարրերի (Mo, W, Cu, Bi) տեղաբաշխման մեջ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гуюмджян О. П. Известковые биметасоматические скарны Западного Баргушата. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, т. XXVII, № 2, 1974.
2. Борисенко Л. А., Злобин Б. И. Галлий в пустотных породах массива г. Сандых. «Геохимия», № 6, 1959.
3. Жариков В. А. К развитию теории процессов скарнообразования. «Геология рудных месторождений», т. 7, № 4, 1965.
4. Ицксон Г. В. Структура поля тектонических нарушений, как фактор изменения физико-химических параметров раствора при метасоматозе. В кн. «Проблемы метасоматизма», Л., ВСЕГЕИ, 1969.
5. Коржинский Д. С. Петрология Турьинских скарновых месторождений мели. Тр. ИГН АН СССР, сер. рудных м-ний, вып. 68, № 10, 1948.
6. Коржинский Д. С. Теория метасоматической зональности. «Наука», М., 1969.
7. Овчинников Л. П. Контактво-метасоматические месторождения Северного Урала. Свердловск, 1960.
8. Шоу Д. М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. «Недра», Л., 1969.