

Г.П. Дворник

Институт геологии и геохимии Уро РАН, г. Екатеринбург

КВАРЦ-ЭГИРИН-МИКРОКЛИНОВЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ: УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, МИНЕРАГЕНИЯ

Кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты относятся к самостоятельной метасоматической формации. Они образуются в условиях проявления кремнежелезо-калиевого метасоматизма на участках распространения пород щелочно-гранитной и щелочно-сиенитовой серий, фенитов, микроклин-серицитовых метасоматитов. Охарактеризованы условия формирования и минерагения (благороднометальная, редкометальная и редкоземельная минерализация) кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов в массивах Центрально-Алданской, Западно-Алданской и Уральской щелочных провинций.

Ключевые слова: щелочные породы, кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты, благороднометальная, редкометальная и редкоземельная минерализация.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.20

Процессы кварц-эгирин-микроклинового метасоматоза проявились в пределах щелочных комплексов Центрально-Алданской, Западно-Алданской и Уральской провинций [4, 6, 7]. В рябиновском и Ыллымахском комплексах Центрально-Алданской провинции метасоматиты эгирин-микроклинового, эгиринового, кварц-гематит-микроклинового и кварц-микроклинового состава, выделенные в самостоятельную формацию [4, 12], образуют многочисленные жилы, прожилки и гнезда на участках распространения поздних даек и штоков щелочногранитной серии (грорудитов, эгириновых граносиенитов, щелочных гранитов). Они также встречаются в зонах развития фенитов и серицит-микроклиновых метасоматитов. Наиболее поздние по времени образования породы щелочногранитной серии (грорудиты, эгириновые граниты и граносиениты) секутся жилами кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов. В пределах массивов они образуются в результате проявления процессов кремне-железо-калиевого метасоматизма на завершающем этапе постмагматической гидротермальной деятельности [4, 11].

Развитие метасоматического процесса на позднем этапе в породах Рябинового массива характеризовалось условиями нарастания в гидротермальных растворах активности ионов трехвалентного железа и

натрия при снижении потенциала ионов калия. В этих условиях в колонке по грорудитам в раннюю щелочную стадию сформировались эгириниты и эгирин-микроклиновые метасоматиты (табл. 1, 2). Изменение химического состава эдукта в эту стадию при образовании эгирин-микроклиновых метасоматитов выражается в привносе в зону реакции ионов железа, калия, кальция, магния, выносе ионов кремния, алюминия.

Таблица 1

Химический состав (мас. %) исходных пород и кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	67,76	58,67	52,64	53,90	59,02	76,42	64,28	68,90	65,79	60,26	88,21	70,53
TiO ₂	0,14	0,35	0,84	0,50	0,15	0,32	0,02	0,04	0,22	0,92	0,04	0,18
Al ₂ O ₃	15,70	8,82	1,69	1,31	15,84	6,80	18,62	15,85	14,38	16,27	2,64	13,69
Fe ₂ O ₃	1,85	12,92	30,00	23,42	10,28	6,60	1,75	0,55	2,36	7,80	1,30	0,40
FeO	0,59	2,03	2,27	2,91	0,56	0,36	0,42	0,43	0,27	0,22	1,29	1,55
MnO	0,47	0,33	0,40	0,44	0,01	0,21	0,01	-	0,09	0,37	0,07	0,04
MgO	0,28	1,11	0,57	1,69	0,20	0,41	0,20	0,14	0,40	0,28	0,16	0,10
CaO	0,45	2,16	1,99	3,72	0,35	0,35	0,25	-	2,34	0,79	0,67	0,12
Na ₂ O	5,74	6,02	7,65	11,49	0,56	0,56	0,70	0,51	2,39	4,69	0,18	0,40
K ₂ O	5,94	7,12	0,56	0,29	1,61	5,65	13,14	13,34	10,68	6,59	1,99	12,27
P ₂ O ₅	-	0,01	0,01	-	0,03	0,11	0,02	-	0,05	0,09	0,05	0,05
H ₂ O	0,14	0,32	0,54	0,16	1,56	1,96	0,40	1,60	1,69	0,16	0,75	0,20
CO ₂	0,20	-	0,12	-	0,20	0,19	0,20	0,20	-	0,17	-	0,09
Сумма	99,26	99,86	99,28	99,83	100,07	99,94	100,01	101,56	100,68	98,64	97,30	99,62
Комп-ы	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	51,16	56,28	56,63	52,63	66,32	65,34	62,35	52,91	49,12	56,47	57,27	49,87
TiO ₂	0,70	0,96	1,41	5,07	0,64	0,06	0,01	2,28	1,32	0,89	1,78	1,14
Al ₂ O ₃	11,68	13,22	9,15	6,72	12,75	20,16	7,75	11,62	6,35	9,36	6,33	11,27
Fe ₂ O ₃	3,53	8,70	13,68	14,80	1,46	0,88	0,88	4,62	18,17	15,26	19,01	12,99
FeO	3,86	1,95	1,80	1,58	1,82	0,11	0,67	6,66	2,01	0,98	0,55	2,25
MnO	0,13	0,16	0,17	0,36	0,09	0,58	0,18	0,16	0,25	0,14	0,46	0,36
MgO	6,09	1,02	1,13	0,83	0,73	0,05	0,10	6,48	1,82	1,26	2,96	0,97
CaO	6,06	2,27	2,20	2,45	1,47	0,36	10,39	8,22	4,22	1,98	1,91	8,31
Na ₂ O	1,56	3,77	5,16	7,36	0,68	0,28	1,75	3,80	9,36	8,56	0,54	0,80
K ₂ O	10,26	9,64	7,73	6,10	12,99	13,18	12,14	2,08	2,53	2,78	4,90	4,20
P ₂ O ₅	0,76	0,23	0,12	0,40	0,07	0,04	0,03	-	0,51	1,05	0,87	-
H ₂ O	3,63	1,31	0,55	0,93	0,59	0,23	2,23	0,95	0,52	0,57	0,86	0,64
CO ₂	-	-	-	-	0,51	-	0,33	0,37	2,60	-	0,61	6,64
Сумма	99,42	99,51	99,73	99,23	100,12	101,27	99,67	100,15	98,78	100,55	98,05	99,44

Таблица 2

Минеральный состав (%) кварц-эгирин-микродлиновых метасоматитов и их эддуктов

Минералы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кварц	9,5	1,3	16,7	1,3	1,0	45,2	8,9	12,6	7,5	11,2	77,5	20,0
Микроклин	35,2	43,7	4,6	1,4	74,0	43,5	78,9	81,5	67,7	40,4	17,0	74,7
Альбит	48,7	6,1	9,3	7,0	4,9	3,7	6,0	4,1	13,9	16,9	1,2	2,0
Нефелин												
Эгирин	1,1	38,2	51,7	77,8		0,9			4,6	20,7		1,8
Диопсид	1,8	7,9	5,5	12,2	0,6				5,5	2,3	1,9	
Энстатит						1,4	0,6					
Гиперстен		2,6										
Корунд					2,5		3,5	0,6		6,7	0,3	
Магнетит	2,9		6,6		1,3	0,8	1,0	0,5	0,6	0,5		0,5
Гематит	0,2		4,7		6,1	3,6	0,6	0,2			2,1	0,6
Рутил	0,1	0,2	0,6	0,3	0,1	0,2			0,2	0,6		0,2
Апатит						0,2				0,2		
Кальцит	0,5		0,3		0,5	0,4	0,5			0,5		0,2
Магнетит								0,5				
Минералы	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Кварц			1,2		14,0	11,7	8,2		4,5	7,8	29,6	21,1
Микроклин	49,7	62,1	49,2	41,3	73,6	77,9	45,3	11,7	16,5	17,5	35,2	28,5
Плагиоклаз								40,8				23,1
Альбит	3,0	8,5	3,9	0,5					20,9	36,0	6,4	
Нефелин		3,3										
Эгирин	6,9		33,7	45,3	4,8	2,2	4,3		38,1	25,2		
Диопсид		6,6	7,3	6,5	3,6	1,7	1,2	14,8	5,7	4,8		
Энстатит											9,4	
Волластонит	8,4											
Гиперстен		0,6	1,7	2,4	2,3							
Актинолит								25,7				
Чароит							40,2					
Биотит	28,7											
Корунд						6,3						
Магнетит	0,6	3,3	1,7			0,2		4,6	4,6	2,3	1,4	1,3
Гематит	0,9									3,3	13,0	8,2
Рутил	0,4	0,6	1,0	3,5	0,4			1,5	0,9	0,6	1,3	1,0
Апатит	1,4	0,5	0,3	0,5					1,3	2,5	2,3	
Кальцит					1,3		0,8	0,9	6,5		1,4	6
Анкерит												10,8

Примечание. Здесь и в табл.1: 1–8 – рябиновский комплекс (1 – гроссунит, 2 – эгирин-микродлиновый метасоматит, 3–4 – эгирициты, 5–6 – гематит-кварц-микродлиновые метасоматиты, 7–8 – кварц-микродлиновые метасоматиты) [4, 11]; 9–12 – ыльмахский комплекс (9 – пироксеновый граносиенит, 10 – эгирин-микродлиновый метасоматит, 11 – гематит-микродлинов-кварцевый метасоматит, 12 – кварц-микродлиновый метасоматит) [4]; 13–19 – мурунский комплекс (13 – минетта, 14 – тингуаит-порфир, 15 – пироксен-микродлиновые метасоматиты, 16 – эгирицит, 17–18 – кварц-пироксен-микродлиновые метасоматиты, 19 – кварц-эгирин-микродлиновый метасоматит с чароитовой минерализацией) [1, 2, 8, 9]; 20–24 – месторождение «Сибирка»: 20 – пироксен-амфиболовый порфирит, 21 – эгирицит, 22 – эгирин-полевошпатовый метасоматит, 23 – кварц-гематит-микродлиновый метасоматит, 24 – кварц-карбонат-микродлиновый метасоматит [7].

В стадию кислотного выщелачивания эгирин становится неустойчивым и замещается кварц-гематитовым агрегатом. При этом происходит привнос в зону реакции ионов кремния, водорода, вынос ионов натрия, железа. В позднюю щелочную стадию в обстановке привноса в элементарный объем пород (10^{-26} м^3) ионов калия, алюминия, выноса ионов кремния и железа образуются кварц-микроклиновые метасоматиты.

Характерными минералогическими признаками жильных кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов позднего этапа являются присутствие белого, а под микроскопом прозрачного решетчатого микроклина-3, развитие игольчатых кристаллов эгирина. В некоторых разностях метасоматитов отмечаются альбит, железистый карбонат, в других широко распространен кварц. Микроклин-3 характеризуется высокой степенью триклинности, его показатели преломления: $n_p=1,516$, $n_g=1,522$. Агрегаты зерен микроклина-3 из кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов по среднему размеру зерен занимают промежуточное положение между ранними и поздними микроклинитами формации серицит-микроклиновых метасоматитов, но близки с последними по величине относительной энтропии. Микроклин-3 отличается по химическому составу ($\text{SiO}_2 - 65,98\%$, $\text{TiO}_2 - 0,01\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - 16,05\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,43\%$, $\text{FeO} - 0,40\%$, $\text{MnO} - 0,03\%$, $\text{MgO} - 0,01\%$, $\text{CaO} - 0,67\%$, $\text{Na}_2\text{O} - 0,36\%$, $\text{K}_2\text{O} - 15,12\%$, $\text{H}_2\text{O} - 0,70\%$), от полевых шпатов из серицит-микроклиновых метасоматитов Рябинового массива, вмещающих золотопорфировое оруденение, более высоким содержанием кремнезема, более низкой концентрацией глинозема. Кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты рябиновского комплекса иногда содержат вкрапленность борнита и более редкого пирита. Для них характерны сидеро-халькофильная геохимическая специализация, повышенные концентрации в сравнении с эдуктом меди, серебра, марганца, ванадия, более низкие значения полиметаллического индекса $(\text{Pb} \times \text{Zn}) / (\text{Cu} \times \text{Mo})$.

Сходные по характеру и направленности с рассмотренными процессы проходили при формировании жильных кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов по пироксеновым граносиенитам Ыллымахского комплекса (табл. 1, 2). Образование эгирин-микроклиновых, гематит-микроклин-кварцевых метасоматитов происходило в условиях преобладания выноса компонентов из зоны реакций над их привносом. Следует отметить, что процессы эгиринизации в щелочных гранитах и граносиенитах Ыллымахского комплекса проявились менее интенсивно, чем в породах Рябинового массива, и жил эгиринового состава здесь не установлено. Белый микроклин-3 из кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов Ыллымахского массива характеризуется высокой степенью

триклинности и сходен по своим структурным параметрам с решетчатым микроклином из аналогичных метасоматитов рябиновского комплекса. Его показатели преломления: $n_p = 1.515-1.516$, $n_g = 1.521-1.523$.

В пределах Ыллымахского комплекса кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты наибольшее площадное распространение получили в юго-восточной части, в штоке эгириновых гранитов и граносиенитов и их эруптивных брекчий, где в стадию кислотного выщелачивания сформировались кварцевое ядро и окружающая его широкая зона повышенного окварцевания пород. В породах штока канавами вскрыты жилы, прожилки и гнезда, сложенные пироксен-микроклиновыми, микроклин-кварцевыми метасоматитами, содержащими обильную вкрапленность борнита.

Геохимическая специализация кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов Ыллымахского комплекса халькофильная, существенно медно-серебряная с повышенным содержанием свинца. Полиметаллический индекс метасоматитов варьирует от 1,1 до 3,3 [12]. В минерализованном штокверке содержание меди достигает 0,8-1%, серебра – до 200 г/т. Содержание золота в жильных метасоматитах с вкрапленностью борнита низкое, по данным их пробирного анализа оно изменяется от 0,12 до 0,29 г/т, по данным атомно-абсорбционного анализа – от 0,11 до 0,26 г/т.

В пределах мезозойского мурунского щелочного комплекса в Западно-Алданской провинции кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты сформировали линзовидные залежи, жилы и прожилки на участках развития поздних даек и силлов минетт, грорудитов, тингуаит-порфинов [3, 8]. В фенитовой зоне они нередко пересекают и замещают породы дайкового комплекса и являются наиболее поздними по времени образования метасоматическими породами. Эгирин-микроклиновые, эгириновые и кварц-микроклиновые метасоматиты мурунского комплекса по химическому и минеральному составу близки аналогичным метасоматитам рябиновского и Ыллымахского комплексов в Центрально-Алданской провинции (1, 2). В южном экзоконтактовом фенитовом ореоле Маломурунского массива кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты образовали линзовидные и жильные тела, вмещающие чароитовую минерализацию месторождения Сиреневый Камень, расположенного на участке пересечения кольцевых и линейных разломов северо-восточного и северо-западного простирания на площади около 12 км². Месторождение состоит из 26 участков, представляющих собой отдельные проявления чароита. В составе чароитовых пород (чароититов) установлено около 30 минералов, которые разделены на 4 группы [3, 5].

1. Породообразующие минералы – кварц, микроклин, эгирин, рихтерит.

2. Щелочные кальциевые силикаты: чароит, пектолит, тиноксит, токкоит, апофиллит, мизерит, канасит, федорит.

3. Аксессуарные минералы – титанит, батисит, болефит, барит.

4. Рудные минералы – борнит, халькопирит, халькозин, галенит, сфалерит, самородные медь, золото и серебро.

Чароититы по времени образования (100 – 85 млн лет) значительно моложе фенитов, контролируются локальными разрывными структурами и отличаются повышенной концентрацией ниобия, циркония, титана, стронция, бария [3]. Чароитовые породы также характеризуются более низкими значениями отношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70745\text{--}0,70786$) в сравнении с породами дайкового комплекса ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70785\text{--}0,70799$) [9]. В результате исследований первичных флюидных включений в кварце чароитовых пород на месторождении Сиреневый Камень [10] установлены термодинамические условия формирования кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов с чароитовой минерализацией: $T = 635\text{--}565^\circ\text{C}$, $P = 400\text{--}60$ МПа.

В Уральской провинции процессы эгирин-микроклинового метасоматоза проявились в пределах Ильмено-Вишневогорского и Западно-Уральского щелочных комплексов на Южном Урале [6, 7]. В экзоконтактовой фенитовой зоне палеозойского Вишневогорского щелочного массива в раннюю щелочную стадию гидротермального процесса сформировались крупнозернистые апофенитовые пироксеновые (эгирин-диапсидовые) и пироксен-микроклиновые метасоматиты. Они представлены линзовидными и жилобразными телами мощностью от нескольких сантиметров до 2 м, длиной от нескольких метров до 100 м, залегающими согласно или секущими слоистость фенитов. В среднем минеральном составе апофенитовых метасоматитов установлено преобладание проксена (50-55 %) над полевыми шпатами (35-40 %). А в составе вмещающих их фенитов превалирует полевой шпат (60-65 %).

В стадию кислотного выщелачивания пироксены в апофенитовых метасоматитах замещаются амфиболами (гастингситом, арфведсонитом) и биотитом, образуется кварц. В позднюю щелочную стадию в пироксен-микроклиновых метасоматитах фенитовой зоны развивается прожилковая минеральная ассоциация, представленная кварцем, щелочными амфиболами и карбонатами (кальцитом, доломитом, анкеритом). С этой ассоциацией связано образование в апофенитовых метасоматитах редкоземельной (бастнезит, чевкинит) и сульфидной (пирит, халькопирит, молибдениты, галенит, сфалерит) минерализации [6].

В Западно-Уральском комплексе в Саткинском районе кварц-эги-рин-микроклиновые метасоматиты локализованы в небольшом (1,3×0,6 км) тектонически нарушенном блоке палеозойских вулканогенно-оса-дочных пород. В пределах блока щелочные породы представлены кру-топадающими дайками арфведсонитовых сиенитов мощностью до 6 м. На этом участке в зависимости от состава первичных пород выделены три группы щелочных метасоматитов: 1) апоглинисто-карбонатные, 2) апоэффузивно-обломочные, 3) аполанцевые, слагающие южную, цент-ральную и северную части площади участка [6, 7]. В раннюю щелочную стадию в южной и центральной зонах образовались преимущественно эги-риниты и эги-рин-микроклиновые метасоматиты, в северной зоне – биотит-микроклиновые метасоматиты. В кислотную стадию на участке сформировались гематит-кварц-микроклиновые метасоматиты. В позд-нюю щелочную стадию в измененных вулканогенно-осадочных поро-дах развиваются кварц-карбонат-микроклиновые метасоматиты (табл. 1, 2). Карбонаты в них представлены кальцитом, анкеритом и сидеритом. При проведении в шестидесятые годы двадцатого века на участке геологоразведочных работ в эги-рин-микроклиновых и гематит-полевошпат-карбонатных метасоматитах было выявлено месторождение «Сибирка» с комплексным молибден-редкометальным оруденением с промышлен-ными содержаниями в рудах ниобия, тантала, циркония и молибде-на [7]. Основные редкометальные минералы руд – колумбит, ильменит, рутил, пироклор, ниобозинит, циркон. В редкометальных рудах также были установлены развитие сульфидной минерализации (пирита, халь-копирита, сфалерита, галенита, молибденита) и повышенные содержа-ния в них золота – до 0,2 г/т и серебра – до 7,6 г/т. Руды месторождения «Сибирка» являются труднообогатимыми в связи с тонкозернистостью редкометальных минералов и тесным сростанием их с пороодообразую-щими минералами.

Кварц-эги-рин-микроклиновые метасоматиты рассмотренных ще-лочных провинций объединяет несмотря на различия их минерогении по-вышенная концентрация в них благородных металлов (золота и серебра).

Библиографический список

1. Бирюков В.М., Бердников Н.В. О парагенетической связи чароитовой минерализации с щелочным метасоматозом // Зап. ВМО. 1992. Ч. 121, № 6. С. 59–76.
2. Борисов А.Б., Евдокимов М.Д. Фениты района чароитовых месторождений Мурунского массива // Зап. ВМО. 1984. Ч. 113, № 4. С. 485–497.
3. Гадятов В.Г., Маршинцев В.К. Цветные камни Якутии и их месторождения. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2000. 328 с.
4. Дворник Г.П. Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции): научная моно-графия. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 329 с.

5. Добровольская М.Г., Рогова В.П., Цетин А.И., Малов В.С. О сульфидной минерализации в чароитовых породах // Минерал. журн. 1980. Т. 2. № 6. С. 3–13.
6. Еськова Е.М. Щелочные редкометалльные метасоматиты Урала. М.: «Наука», 1976. 292 с.
7. Золотов К.К., Левин В.Я., Мормилль С.И. Шардакова Т.Ю. Минерация и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала. – Екатеринбург: МПР РФ, ИГГ УрО РАН. ОАО УГЭСЭ. 2004. 336 с.
8. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтогенной системы / В.П. Костюк, Л.И. Панина, А.Я. Жидков и др. Новосибирск: Наука, 1990. 239 с.
9. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии // Тр. ГИН РАН. Вып. 535. М.: Наука, 2000. 238 с.
10. Прокофьев В.Ю., Воробьев Е.И. Р-Т-условия образования стронций-бариевых карбонатитов, чароитовых пород и торголитов мурунского щелочного массива (Восточная Сибирь) // Геохимия. 1991. № 10. С. 1444–1452.
11. Угрюмов А.Н., Дворник Г.П. Щелочные рудоносные метасоматиты Рябинового массива (Алданский щит) // Сов. геология. 1984. № 9. С. 84–94.
12. Угрюмов А.Н., Дворник Г.П., Балахонов В.С. Метасоматическая зональность мезозойского полигенного и полихронного Ыльмакского золоторудного узла (Алданский щит) // Изв. УГГА. Сер. Геология и геофизика. Вып. 13. Екатеринбург, 2001. С. 151–163.

QURTZ-EGIRIENE-MICROCLINE METASOMATITES:
CONDITIONS BUILDUPS, MINERAGENY

G.P. Dvornik

gpdvornik@yandex.ru

Quartz-egirine-microcline metasomatites related to independent metasomatic formation. They formed in the conditions display of processes silicon-iron-potassium metasomatism on areas of distribution rocks alkaline-granite and alkaline-syenite series, fenites and microcline-sericite metasomatites. Defined conditions formation and minerageny (precious-metals, rare-metals, rare-earth mineralization) quartz-egirine-microcline metasomatites in the massif of Central Aldan, West Aldan, Urals alkaline province.

Keywords: alkaline rocks, quartz-egirine-microcline metasomatites, precious-metals, rare-metals, rare-earth mineralization.