

Условия формирования, состав и минерогения щелочных метасоматитов

Геннадий Петрович ДВОРНИК*

Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы обусловлена важным практическим значением метасоматических пород, сопровождающих многие рудные и нерудные полезные ископаемые.

Цель работы – исследование температурных условий образования, особенностей химического и минерального состава, минерогении щелочных метасоматитов.

Результаты. Приведена расширенная классификация основных видов щелочных метасоматитов, сформировавшихся в раннюю щелочную стадию гидротермального процесса в широком диапазоне температур – от высокотемпературных (более 500 °С) условий до среднетемпературных (500–300 °С) и низкотемпературных (ниже 300 °С). Щелочные метасоматиты подразделяются по химическому составу на калиевые (эгириновые фениты, микроклиниты, биотит-ортоклазовые метасоматиты, гумбеиты) и натриевые (диопсидовые фениты, альбититы, эйситы, жадеититы и эгириниты). Фениты образуются в контактовых зонах калиевых и калиево-натриевых щелочных массивов вмещающими алюмосиликатными породами. Микроклиниты развиваются по интрузивным и эффузивным щелочным породам (сиенитам, трахитам, псевдолейцитовым фолонитам). Среди калиевых метасоматитов они выделяются по составу наиболее высоким содержанием в них оксида калия и глинозема. Биотит-ортоклазовые метасоматиты получили распространение на месторождениях меди и молибдена порфирирового типа. Гумбеиты формируются по алюмосиликатным и карбонатным породам в условиях повышенной активности калия и CO_2 в гидротермальных растворах. Альбититы образуются по кислым и средним породам (гранитам, нефелиновым сиенитам, фенитам). Эйситы отличаются от них более низкотемпературными условиями образования. Они являются характерными околорудными метасоматитами месторождений урана. Жадеититы формируются по гранитоидам, образующим дайковые тела в массивах серпентинизированных ультрабазитов. Они отличаются по составу от других натриевых метасоматитов наиболее высокой концентрацией в них оксида натрия и глинозема. Эгириниты образуются на участках распространения пород щелочно-гранитной серии. В минеральном составе щелочных метасоматитов преобладают полевые шпаты (ортоклаз, микроклин, альбит) в ассоциации с пироксенами, карбонатами или щелочные пироксены (жадеит, эгирин). С калиевыми щелочными метасоматитами ассоциируют месторождения меди, молибдена, вольфрама, золота, урана, полевошпатового сырья, с натриевыми метасоматитами – месторождения бериллия, вольфрама, лития, рубидия, циркония, урана, золота, камнесамоцветного сырья (жадеита, чароита).

Ключевые слова: калиевые и натриевые щелочные метасоматиты, условия образования, состав, минерогения.

Введение

Вещественный состав метасоматических пород зависит как от состава замещаемых ими алюмосиликатных и карбонатных пород, так и от состава воздействующих на них гидротермальных растворов [1, 2]. Метасоматиты имеют важное практическое значение, с ними ассоциируют многие рудные и нерудные полезные ископаемые. По кислотно-щелочным свойствам воздействующих на исходные породы гидротермальных флюидов выделены отряды метасоматитов (щелочные, основные, кислотные), сформировавшиеся согласно теории метасоматических процессов [3] в раннюю щелочную и кислотную стадии. Щелочные метасоматические породы по накоплению определенных катионов подразделяются на подотряды

калиевых и натриевых метасоматитов [4]. Подотряды делятся на семейства метасоматитов по температуре их образования: высокотемпературные (выше 500 °С), среднетемпературные (500–300 °С), низкотемпературные (ниже 300 °С) [5]. Семейства подразделяются на виды метасоматических пород по их химическому и минеральному составу. Приведена расширенная классификация основных видов щелочных метасоматитов (табл. 1), рассмотрены температурные условия их формирования, особенности вещественного состава и минерогения. Фактическим материалом для характеристики состава щелочных метасоматитов и их эдуктов послужили данные 491 химических анализов этих пород [6, 7].

✉ gpdvornik@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

Таблица 1. Классификация видов щелочных метасоматитов (по [4, 7] с дополнениями автора)
Table 1. Classification of species of alkaline metasomatites (according to [4, 7] with some additions of the author)

Отряд	Подотряд	Семейства	Виды
Щелочные	Калиевые	Высокотемпературные	Эгириновые фениты
		Высоко-среднетемпературные	Микроклиниты Биотит-ортоклазовые метасоматиты
		Средне-низкотемпературные	Гумбеиты
	Натриевые	Высокотемпературные	Диопсидовые фениты Эгириниты
		Высоко-среднетемпературные	Жадеититы
		Среднетемпературные	Альбититы
		Низкотемпературные	Эйситы

Щелочные метасоматиты. К калиевым щелочным метасоматитам относятся эгириновые фениты, микроклиниты, биотит-ортоклазовые метасоматиты, гумбеиты (табл. 1). Фениты формируются в контактовых зонах калиевых и калиево-натриевых щелочных массивов с вмещающими алюмосиликатными породами (гранитами, гнейсами, амфиболитами) [7–9]. Ширина зон фенитизации варьирует в широких пределах – от первых метров до нескольких километров. В контактовых ореолах калиевых щелочных массивов (Рябинового, Мурунского и др.) фениты представлены преимущественно пироксен-ортоклазовыми метасоматитами, характеризующимися отношением $K_2O/Na_2O > 1$, развитием щелочных пироксенов (эгирина, эгирин-авгита). А в контактовых зонах калиево-натриевых щелочных массивов (Африканда, Лесная Варака и др.) фениты выделяются по составу более низким отношением $K_2O/Na_2O < 1$, образованием пироксенов диопсид-геденбергитового ряда и K–Na полевых шпатов (табл. 2, 3). Температурный интервал формирования фенитов по геологическим и экспериментальным данным составляет 500–800 °С, а рН флюида, равновесного с минеральными ассоциациями фенитов, равен 7–10 [1, 10]. Метасоматиты фенитовой формации характеризуются редкометалльной-редкоземельной геохимической специализацией (Nb, Ta, Zr, Hf, TR).

Микроклиниты получили достаточно широкое распространение в пределах калиевых щелочных массивов (Рябинового, Мурунского, Сыннырского, Томторского и др.) [6, 11], в которых они образуют штокообразные тела площадью от сотых долей до десятков квадратных километров. Микроклиниты развиваются преимущественно по щелочным сиенитам (пуласскитам, сиенит-пегматитам, псевдолейцитовым сиенит-порфирам), реже нефелиновым сиенитам, и породам вулканогенной кровли (щелочным трахитам, псевдолейцитовым фонолитам) при $T = 550–400$ °С и $P = 100–150$ МПа. Они отличаются по составу от других видов калиевых метасоматитов наиболее высокой концентрацией в них оксида калия и глинозема (табл. 2). Микроклиниты рассматриваются как перспективный источник полевошпатового сырья. В менее щелочных условиях при $T = 750–300$ °С формируются по средним и кислым породам (монзонитам, диоритам, гранитам) биотит-ортоклазовые метасоматиты, распространенные на многих молибден-медно-порфировых место-

рождениях (Кальмакыр, Актогай, Жирекенское, Сорское и др.) [12–14]. Гумбеиты образуются при $T = 450–250$ °С при повышенной активности калия и углекислого газа в гидротермальных растворах. Вещественный состав метасоматитов гумбеитовой формации в значительной степени зависит от состава замещаемых ими пород (табл. 2, 3). Гумбеиты, сформировавшиеся по карбонатным породам (песчанистым, глинистым доломитам), выделяются более высокой концентрацией в их составе CO_2 в сравнении с карбонатно-калишпатовыми метасоматитами, развитыми по алюмосиликатному субстрату (гранитам, диоритам, гнейсам). Металлогеническая специализация метасоматитов гумбеитовой формации определяется вольфрамовыми (Бурановское, Балканское, Кедровское) и золотоурановыми (Лунное, Элькон, Северное) месторождениями [15, 16].

Натриевые щелочные метасоматиты представлены диопсидовыми фенитами, альбититами, эйситами, жадеититами и эгиринитами (табл. 1). Альбититы развиваются по породам кислого и среднего состава (гранитам, нефелиновым сиенитам, фенитам) при $T = 500–400$ °С. Второстепенными минералами альбититов являются кварц, микроклин, биотит (табл. 3). В интрузивных массивах альбитизированные породы образуют штоки площадью до нескольких квадратных километров и глубиной до 600 м. С апогранитными альбититами ассоциируют месторождения бериллия, вольфрама, лития, рубидия, с апопсиенитовыми альбититами – месторождения гафния, тория, церия [17]. Типоморфными рудными минералами апофенитовых альбититов являются циркон, пироксенол, ильменит.

Эйситы относятся к низкотемпературным (300–230 °С) натриевым метасоматитам гематит-анкерит-альбитового состава. Они развиваются в обстановке повышенной активности натрия и углекислого газа в гидротермальных флюидах по породам кислого и среднего состава (гранитам, диоритам, сиенитам). Эйситы являются типичными околорудными метасоматитами урановых месторождений (Гуннар, Эйс-Фей, Рябиновое и др.) [18, 19], а также некоторых полиметаллических и золоторудных месторождений (Саурейское, Кумакское, Астафьевское) [20, 21].

Жадеититы формируются при $T = 490–650$ °С и $P = 550–1000$ МПа по породам кислого состава (гранито-

Таблица 2. Средний химический состав щелочных метасоматитов (1–10) и их эдуктов (1а–10а), мас. %
Table 2. Average chemical composition alkaline metasomatites (1–10) and their educts (1a–10a), wt. %

Компоненты	Средний химический состав									
	1(20)	1a(20)	2(25)	2a(25)	3(20)	3a(20)	4(20)	4a(20)	5(41)	5a(41)
SiO ₂	60,31	57,88	59,82	58,66	65,31	66,15	60,49	65,44	45,57	17,66
TiO ₂	0,57	1,03	0,35	0,48	0,32	0,34	0,44	0,48	0,51	0,29
Al ₂ O ₃	15,83	14,80	18,71	18,01	16,45	15,98	13,43	15,09	10,40	3,92
Fe ₂ O ₃	3,34	3,55	2,09	2,77	1,70	1,80	3,14	1,91	5,12	1,06
FeO	1,94	3,81	0,90	1,41	0,96	1,41	1,01	2,15	0,44	0,99
MnO	0,17	0,17	0,08	0,10	0,04	0,07	0,05	0,05	0,12	0,04
MgO	1,14	3,79	0,45	0,81	0,82	1,12	1,36	1,39	4,58	15,53
CaO	2,39	6,01	0,74	2,23	1,10	2,22	3,67	2,83	11,33	22,59
Na ₂ O	3,67	4,14	1,23	3,71	4,54	3,30	1,07	3,73	0,12	0,11
K ₂ O	9,43	4,53	13,71	9,76	9,44	4,48	8,91	5,29	7,13	1,90
P ₂ O ₅	0,17	0,15	0,07	0,14	0,12	0,14	0,24	0,16	0,21	0,09
H ₂ O	0,69	1,08	1,00	1,04	1,02	1,01	0,62	0,50	0,60	0,33
CO ₂	0,83	0,62	0,50	0,36	0,53	0,26	4,29	0,95	12,75	34,45
<i>Сумма</i>	100,48	101,56	99,65	99,48	99,52	98,28	100,31	98,72	98,88	98,96

Компоненты	Средний химический состав									
	6(20)	6a(20)	7(27)	7a(27)	8(25)	8a(25)	9(29)	9a(26)	10(18)	10a(19)
SiO ₂	60,72	63,49	65,16	68,60	53,67	56,04	57,34	70,67	51,39	67,35
TiO ₂	0,80	0,92	0,27	0,31	0,60	0,82	0,26	0,16	2,01	0,25
Al ₂ O ₃	15,16	15,21	18,38	15,50	13,70	14,78	20,70	14,90	5,37	14,91
Fe ₂ O ₃	3,66	2,50	1,28	0,96	1,38	1,94	1,61	0,81	20,07	2,97
FeO	2,50	3,29	1,05	1,72	2,64	4,65	0,87	0,62	2,87	1,51
MnO	0,16	0,21	0,05	0,05	0,12	0,16	0,04	0,08	0,29	0,09
MgO	1,42	2,55	0,80	1,02	3,23	4,93	2,10	1,05	1,61	0,33
CaO	3,66	4,45	1,34	2,18	6,62	5,06	3,15	1,71	3,52	0,63
Na ₂ O	6,71	4,14	8,99	3,95	6,62	3,15	11,58	5,95	7,66	6,20
K ₂ O	4,00	2,34	0,88	3,71	0,73	2,17	0,35	2,04	2,89	5,67
P ₂ O ₅	0,26	0,13	0,17	0,17	0,18	0,18	0,05	0,01	0,38	0,06
H ₂ O	0,40	0,57	0,35	0,61	0,48	3,22	0,94	1,47	0,84	0,33
CO ₂	0,38	0,31	0,32	0,17	9,31	2,12	0,92	0,01	1,42	0,23
<i>Сумма</i>	99,83	100,11	99,07	98,95	99,37	99,22	99,91	99,48	100,32	100,53

Примечание: здесь и в табл. 3: 1–5 – калиевые метасоматиты: 1 – эгириновые фениты; 2 – микроклиныты; 3 – биотит-ортоклазовые метасоматиты; 4, 5 – гумбеиты по алюмосиликатным и карбонатным породам; 6–10 – натриевые метасоматиты: 6 – диопсидовые фениты, 7 – альбититы, 8 – эйситы, 9 – жадеититы, 10 – эгириниты. В скобках приведено количество анализов пород.

идам), образующим дайковые тела в массивах серпентинизированных гарцбургитов и дунитов: Итмурундинском в Казахстане, Войкаро-Сыныинском и Сыум-Кеуском на Полярном Урале, Борусском в Западном Саяне и др. [22–24]. В пределах массивов жадеититы встречаются в виде жил, линз и небольших штоков с размерами по простиранию до 300 м, по падению до 100 м и мощностью 1–60 м. Ювелирно-поделочные зеленые диопсид-жадеиты (пейзажные, рябчиковые, брекчиевидные) формируются на месторождениях (Итмурундинском, Лево-Кечпельском, Пусьерка) в результате перекристаллизации и метасоматического замещения породообразующих белых и серых жадеитов при более низких температурах (220–390 °С) и давлении (150–200 МПа) в условиях понижения в гидротермальных растворах потенциала натрия [23]. Среди натриевых метасоматитов жадеититы выделяются наиболее высокими содержаниями в их среднем составе оксида натрия и глинозема и резким преобладанием в минеральном составе щелочных пироксенов (табл. 2, 3).

Эгириниты являются характерными породами формирования кварц-эгирин-микроклиновых метасоматитов, об-

разующих многочисленные тела линзовидной, жильной и гнездовой формы на участках распространения поздних даек и штоков щелочно-гранитной серии (грорудитов, эгириновых граносиенитов и гранитов) в пределах щелочных комплексов Центрально-Алданской, Западно-Алданской и Уральской провинций (Рябиновом, Мурунском, Западно-Уральском) [25–27]. Эгириниты формируются в условиях нарастания в гидротермальных растворах активности ионов трехвалентного железа и натрия. Они отличаются по составу от других видов щелочных метасоматитов низкой концентрацией глинозема и высоким содержанием оксида железа (табл. 2). В Рябиновом массиве эгириниты встречаются также в зонах развития фенитов и микроклин-серицитовых метасоматитов, вмещающих золото-порфировое оруденение, содержат иногда вкрапленность борнита и пирита. Для них характерны сидеро-халькофильная геохимическая специализация, повышенные концентрации в сравнении с эдуктом меди, серебра, марганца и ванадия. В фенитовом ореоле Мурунского щелочного комплекса кварц-эгирин-микроклиновые метасоматиты образовали линзовидные и жильные

Таблица 3. Средний минеральный состав щелочных метасоматитов (1–10) и их эдуктов (1а–10а), %
Table 3. Average mineral composition alkaline metasomatites (1–10) and their educts (1а–10а), %

Минералы	Средний минеральный состав									
	1	1а	2	2а	3	3а	4	4а	5	5а
Кальцит	2,0	1,50	1,3	0,8	1,4	0,6	1,1	2,4	2,5	0,5
Доломит							4,7		10,0	76,7
Анкерит							5,9		23,5	
Магнезит										
Диопсид	6,1	19,30		4,1						
Энстатит						3,0		3,8		
Гиперстен						0,9		2,0		
Жадеит										
Эгирин	6,1									
Биотит			2,7		4,8					
Ортоклаз	53,2	2,75		58,6	54,7	25,7		30,2		9,8
Микроклин			80,7				54,0		41,7	
Альбит	29,0		11,1				9,9			
Плагиоклаз	21,0	46,10		27,3	18,9	50,6		41,4	2,2	2,0
Нефелин				5,8						
Серицит								2,4		
Каолинит										3,2
Кварц		1,10			16,2	14,5	18,9	15,2	16,0	6,4
Апатит	0,5	0,30	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,2
Корунд			1,6		1,8		2,3			
Магнетит	2,7	3,50	2,2	2,8	1,7	1,8	2,4	2,0	1,0	1,0
Гематит										
Рутил	0,4	0,70	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2

Минералы	Средний минеральный состав									
	6	6а	7	7а	8	8а	9	9а	10	10а
Кальцит	1,0	0,80	0,7	0,4			2,1		3,5	0,5
Доломит							2,8			
Анкерит					22,6					
Магнезит						1,7				
Диопсид	11,0	11,10					7,7	3,3	8,8	3,2
Энстатит				2,8		8,6				
Гиперстен				2,0		5,2				
Жадеит							79,6			
Эгирин	0,7								49,7	6,2
Биотит			5,9							
Ортоклаз	23,1	13,70		17,1		15,4	1,7	12,7		33,3
Микроклин			2,4		4,3				17,0	47,2
Альбит	58,6		82,1		62,5				11,8	
Плагиоклаз		56,00		45,4		54,3				
Нефелин										
Серицит				8,3						
Каолинит										
Кварц	0,8	16,40	6,8	22,5	8,7	9,4	4,2	19,7	2,9	8,5
Апатит	0,6	0,30	0,3	0,3	0,5	0,4			1,0	0,2
Корунд			0,2							
Магнетит	3,6	2,70	1,3	1,0		1,7	1,5	0,8	3,9	0,7
Гематит					1,0					
Рутил	0,6	0,60	0,3	0,2	0,4	0,5	0,2	0,1	1,4	0,2

тела, вмещающие чароитовую минерализацию месторождения Сиреневый Камень. Установлены термодинамические условия их формирования [28]: $T = 635\text{--}565\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 400\text{--}60\text{ МПа}$. В Западно-Уральском щелочном комплексе в кварц-эгириин-микроклиновых метасоматитах было выявлено месторождение Сибирка [27] с комплексным молибден-редкометалльным оруденением с промышленными содержаниями в рудах ниобия, тантала, циркония и молибдена и повышенными концентрациями в них золота и серебра.

Заключение

В результате проведенных исследований разработана расширенная классификация основных видов калиевых и натриевых щелочных метасоматитических пород по температуре их образования, химическому и минеральному со-

ставу. Щелочные метасоматиты формируются в широком диапазоне температурных условий – от высокотемпературных (пироксеновые фениты, эгирииниты) до среднетемпературных (гумбеиты, альбититы) и низкотемпературных (эйситы). Они характеризуются высокой концентрацией в их составе оксидов калия или натрия, преобладанием в минеральном составе полевых шпатов (ортотлаза, микроклина, альбита) в ассоциации с пироксенами, карбонатами или щелочных пироксенов (жадеита, эгирина). В минерагеническом аспекте рассмотренные виды щелочных метасоматитов имеют важное практическое значение, с ними связано образование многих месторождений рудных полезных ископаемых (золота, меди, молибдена, урана, бериллия, вольфрама, ниобия, циркония и др.), полевошпатового и камнесамоцветного сырья (жадеита, чароита).

Исследования проведены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН по теме «Рудообразующие процессы и закономерности размещения месторождений полезных ископаемых во внутримитных коллизионных складчатых поясах» (номер госучета НИОКТР 12301 180 0011-2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Метасоматизм и метасоматические породы / В. А. Жариков [и др.]. М.: Научный мир, 1998. 492 с.
2. Царев Д. И. Метасоматизм. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2002. 320 с.
3. Коржинский Д. С. Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1982. 104 с.
4. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / В. В. Жданов [и др.]. СПб: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
5. Зарайский Г. П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Недра, 1989. 344 с.
6. Дворник Г. П. Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 329 с.
7. Дворник Г. П. Виды метасоматических пород: температурные условия образования, особенности состава, минерагения // Известия УГГУ. 2020. Вып. 1 (57). С. 63–72. <https://doi.org/10.21440/2307-2020-1-63-72>
8. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии (геология, петрология, минералогия и геохимия) / А. А. Кухаренко [и др.]. М.: Недра, 1965. 550 с.
9. Heinrich E. W. M. Infinite variation on a fenite theme // The Indian Mineralogist. 1985. Sukheswala vol. P. 151–162.
10. Бардина Н. Ю., Попов В. С. Фениты: систематика, условия формирования и значение для корового магмообразования // Записки ВМО. 1994. Т. 123. № 6. С. 1–19.
11. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз) / А. А. Фролов [и др.]. М.: НИА-Природа, 2005. 540 с.
12. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С. Медно-порфиновые месторождения мира. М.: Недра, 1986. 236 с.
13. Жуков Н. М. Инфильтрационный метасоматизм и природные колонны гидротермалитов. Алма-Ата, 1991. 216 с.
14. Sillitoe R. N. Porphyry copper systems // Economic Geology. 2010. Vol. 105. No. 1. P. 3–41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
15. Коржинский А. Ф. Гидротермально измененные породы редкометалльных месторождений Восточной Сибири. М.: Недра, 1967. 432 с.
16. Бойцов В. Е., Пилипенко Г. Н., Солодов Н. А. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. М.: НИА-Природа, 1999. 220 с.
17. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 354. СПб, 2012. 560 с.
18. Околорудные метасоматиты Западного Узбекистана / И. П. Щербань [и др.]. М.: Наука, 1990. 189 с.
19. Рихванов Л. П. Радиогеохимическая типизация рудно-магматических образований (на примере Алтае-Саянской складчатой области). Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. 536 с.
20. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.
21. Сазонов В. Н. Золотопродуктивные метасоматические формации подвижных поясов (геодинамические обстановки и РТХ-параметры формирования, прогностическое значение). Екатеринбург: УГГГА, 1998. 181 с.
22. Добрецов Н. Л., Татаринцев А. В. Жадеит и нефрит в офиолитах (на примере Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 1983. 125 с.
23. Аеров Г. Д., Свириденко А. Ф., Коваленко И. В. Жадеит. М.: Недра, 1992. 144 с.
24. Schertl H.-P., Maresch W. V., Stanek K. P., Hertwig A., Krebs M., Baese R., Sergeev S. S. New occurrences of jadeite, jadeite quartzite and jadeite-lawsonite quartzite in the Dominican Republic, Hispaniola: petrological and geochronological overview // European Journal of Mineralogy. 2012. Vol. 24. No. 2. P. 199–216. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2012/0024-2201>
25. Дворник Г. П. Кварц-эгириин-микроклиновые метасоматиты: условия образования, минерагения // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского: сборник науч. статей. Пермь: ПГНИУ, 2023. Вып. 26. С. 20–27. <https://doi.org/10.17072/chirvinsky.2023.20>
26. Гадиятов В. Г., Маршинцев В. К. Цветные камни Якутии и их месторождения. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2000. 328 с.
27. Минерагения и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала / К. К. Золоев [и др.]. Екатеринбург: МПР РФ, ИГГ УрО РАН, ОАО УГСЭ, 2004. 336 с.
28. 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.

Статья поступила в редакцию 15 октября 2024 года

Conditions buildups, composition and minerageny alkaline metasomatites

Gennadiy Petrovich DVORNIK*

The Zavaritsky institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The relevance of the work is due to the importance of metasomatic rocks associated many ore and non-metallic mineral resources.

Purpose of the work – study of temperature condisions of formation, peculiarity of the chemical and mineral composition, minerageny of alkaline metasomatites.

Results. The extended classification of main types of alkaline metasomatites, formed in the early alkaline stage of the hydrothermal process in the wide range of temperatures from high-temperature (above 500 °C) conditions to medium-temperature (500–300 °C) and low-temperature (below 300 °C), is given.

Alkaline metasomatites are subdivided on chemical composition into potassium (egirine phenites, microclinites, biotite-ortoclase metasomatites, gumbaites) and sodium (diopside phenites, albitites, eisites, jadeitites, egrinites). Phenites formed in the contact zones potassium and potassium-sodium alkaline massifs with contained aluminosilicated rocks. Microclinites developed on intrusive and effusive alkaline rocks (syenites, trachytes, pseudo leucite phonolites). They distinguished on composition among potassium metasomatites most high content in their potassium oxide and alumina. Biotite-ortoclase metasonatites spreaded on the deposits copper and molibdenum porphyry type. Gumbaites formed on aluminosilicated and carbonate rocks in the conditions higher activity potassium and CO₂ in hydrothermal solutions. Albitites generated on acid and middle rocks (granites, nepheline syenites, phenites). Eisites differ from their more low-temperature conditions of formation. They present typical near-ore metasomatites uranium deposits. Jadeitites formed on generatrix dike bodies granitoids in massifs serpentinous ultrabasites. They differ on composition from another sodium metasomatites most high concentration sodium oxide and alumina. Egrinites generated on areas of distribution rocks alkaline-granite series. In the mineral composition alkaline metasomatites prevailed of feldspars (ortoclase, microcline, albite) in association with piroxenes, carbonates or alkaline piroxenes (jadeite, egirine). Deposits of copper, molibdenum, tungsten, gold, uranium, feldspars resource are associated with potassium alkaline metasomatites, and deposits of beryllium, tungsten, lithium, rubidium, zirconium, uran, gold, colored stone resource (jadeite, charoite), associated with sodium metasomatites.

Keywords: potassium and sodium alkaline metasomatites, condition of formation, composition, minerageny.

The studies carried out as part of the state assignment of the IGG UB RAS (state registration number 12301 180 0011-2).

REFERENCES

1. Zharikov V. A. et al. 1998, Metasomatism and metasomatic rocks. Moscow, 498 p. (*In Russ.*)
2. Tsarev D. I. 2002, Metasomatism. Ulan-Ude, 320 p. (*In Russ.*)
3. Korzhinsky D. S. 1982, Theory of metasomatic zonalit. Moscow, 104 p. (*In Russ.*)
4. Zhdanov V. V. et al. 2008, Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations. Saint Petersburg, 200 p. (*In Russ.*)
5. Zarskiy G. P. 1989, Zonalit and conditions of formation of metasomatic rocks. Moscow, 324 p. (*In Russ.*)
6. Dvornik G. P. 2014, Metasomatism and gold mineralization of potassium alkaline massifs (using the Central Aldan alkaline province as an example). Ekaterinburg, 329 p. (*In Russ.*)
7. Dvornik G. P. 2020, Types of metasomatic rocks: temperature conditions buildups, features of composition, minerageny. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1(57). pp. 63–72. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.21440/2307-2020-1-63-72>
8. Kukharenko A. A. et al. 1965, Caledonian complex ultrabasic, alkaline rocks and carbonatites Kola Peninsula and North Karelia (Geology, petrology, mineralogy and geochemistry). Moscow, 550 p. (*In Russ.*)
9. Heinrich E. W. M. 1985, Infinite variation on a fenite theme. *The Indian Mineralogist*. Sukhwala vol., pp.151–162.
10. Bardina N. Yu., Popov V. S. 1994, Fenites: taxonomy, formation condition, and significant for core magma formation. *Zapiski Rossiiskogo Mineralogicheskogo Obshchestva* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], vol. 123, no. 6, pp. 1–19. (*In Russ.*)
11. Frolov A. A. et al. 2005, Carbonatites and kimberlites (interrelations, minerageny, forecast). Moscow, 540 p. (*In Russ.*)
12. Krvitsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S. 1986, Porphyry copper deposits of the world. Moscow, 236 p. (*In Russ.*)
13. Zhukov N. M. 1991, Infiltration metasomatism and natural columns of hydrothermalite. Alma-Ata, 216 p. (*In Russ.*)
14. Sillitoe R. N. 2010, Porphyry copper systems. *Economic Geology*, vol. 105, no. 1, pp. 3–41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
15. Korzhinsky A. F. 1967, Hydrothermal altered rocks rare-metallic deposits East Siberia. Moscow, 432 p. (*In Russ.*)

✉ gpdvornik@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

16. Boytsov V. E., Pilipenko G. N., Solodov N. A. 1999, Deposits of noble, radioactive and rare metals. Moscow, 220 p. (*In Russ.*)
17. Plyushev E. V., Shatov V. V., Kashin S. V. 2012, Metallogeny of hydrothermal-metasomatic formations. VSEGEI Proceedings. New series, vol. 354. Saint Petersburg, 560 p. (*In Russ.*)
18. Shcherban' I. P. et al. 1990, Near-ore metasomatites of Western Uzbekistan. Moscow, 189 p. (*In Russ.*)
19. Rikhvanov L. P. 2002, Radiogeochemical typification ore-magmatic formations (by the example of the Altai-Sayan folded area). Novosibirsk, 536 p. (*In Russ.*)
20. Gryaznov O. N. 1992, Ore metasomatic formations of folded belts. Moscow, 256 p. (*In Russ.*)
21. Sazonov V. N. 1998, Gold-productive metasomatic formations of mobile belts (geodynamic environments and PTX-parameters of formations, prognostic significance). Ekaterinburg, 181 p. (*In Russ.*)
22. Dobretsov N. L., Tatarinov A. V. 1983, Jadeite and nephrite in ophiolites (by the example West Sayan). Novosibirsk, 125 p. (*In Russ.*)
23. Aerov G. D., Sviridenko A. F., Kovalenko I. V. 1992, Jadeite. Moscow, 144 p. (*In Russ.*)
24. Schertl H.-P., Maresch W. V., Stanek K. P., Hertwig A., Krebs M., Baese R., Sergeev S. S. 2012, New occurrences of jadeite, jadeite quartzite and jadeite-lawsonite quartzite in the Dominican Republic, Hispaniola: petrological and geochronological overview. *European Journal of Mineralogy*, vol. 24, no. 2, pp. 199–216. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2012/0024-2201>
25. Dvornik G. P. 2023, Quartz-egirine-microcline metasomatites: condition buildups, minerageny. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii* [Problems of mineralogy, petrography and metallogeny]: Science reading of memory P. N. Chirvinsky: collection of science articles. Perm, issue 26, pp. 20–27. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.17072/chirvinsky.2023.20>
26. Gadiyatov V. G., Marshintsev V. K. 2000, Colored stone of Yakutia and their deposits. Ekaterinburg, 328 p. (*In Russ.*)
27. Zoloev K. K. et al. 2004, Minerageny and deposits of rare metals, molybdenum and tungsten of Urals. Ekaterinburg, 336 p. (*In Russ.*)
28. Prokof'ev V. Ju., Vorob'ev E. I. 1991, P-T-conditions buildups strontium-barium carbonatites, charoite rocks and torgolites Murunsky alkaline massif (East Siberia). *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 10, pp. 1444–1452. (*In Russ.*)

The article was received on October 15, 2024