

УДК 549.02+552.13

РЁНИТ В РАСПЛАВНЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ ИЗ ОЛИВИНА АЛЛИВАЛИТОВЫХ НОДУЛЕЙ ВУЛКАНА МАЛЫЙ СЕМЯЧИК И БАЗАЛЬТОВ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ (КАМЧАТКА)

© 2011 г. В. В. Ананьев¹, О. Б. Селянгин²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9,
e-mail: avv@kscnet.ru

² Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН
683002 Петропавловск-Камчатский, Северо-восточное шоссе, 30

Поступила в редакцию 13.09.2010 г.

При микросондовом изучении оливинов алливалитовых нодулей из лав вулкана Малый Семячик и фенокристаллов оливина из базальтов вулкана Ключевской в качестве минерала-узника впервые обнаружен рёнит. Рёнит представлен мелкими (10–50 мк) зернами, ксеноморфными в сростаниях с другими минералами, и с правильными кристаллографическими очертаниями в контактах со стеклом. В парагенезисе с рёнитом встречены высокоглиноземистые клинопироксен, безхромовая шпинель, роговая обманка. Остаточное стекло отличается повышенным содержанием SiO₂, Al₂O₃, щелочей и пониженными содержаниями FeO, MgO и CaO. Химический состав изученного рёнита характеризуется ограниченными вариациями основных компонентов и хорошо рассчитывается на формулу (Si,Al)₆(Ti,Al,Fe⁺³,Fe⁺²,Mn,Mg)₆(Ca,Na)₂O₂₀. Фигуративные точки составов исследованных рёнитов ложатся в общее поле гораздо более вариативных составов минерала, встречаемых в природе. В отличие от предыдущих находок, сделанных в щелочных и субщелочных породах, рёнит, описываемый в настоящем сообщении, обнаружен в породах толеитовой и известково-щелочной серий.

ВВЕДЕНИЕ

При микросондовом изучении оливинов алливалитовых нодулей из лав вулкана Малый Семячик и фенокристаллов оливина из базальтов вулкана Ключевской в качестве минерала-узника обнаружен рёнит.

Рёнит – силикат, минерал группы энигматита, получивший свое название от массива Рён (Германия). Он обладает триклинной сингонией и характеризуется общей формулой – X₂Y₆Z₆O₂₀, где X = Na, K, Ca; Y = Ti, ^{VI}Al, ^{VI}Fe⁺³, Fe⁺², Mn, Mg; Z = Si, ^{IV}Al, ^{IV}Fe⁺³. Рёнит встречается как редкий минерал в качестве субфенокристаллов и микролитов в щелочных базальтах, тешенитах, лимбургитах, тефритах, фонолитах, а также как продукт замещения ксенокристов амфибола и как интерстициальная фаза сложенных им ксенолитов. В состав характерных для него минеральных ассоциаций входят титан-авгит, керсутит, диопсид, форстерит, шпинель, перовскит, магнезиоферрит, титаномагнетит [Mineral ..., 2001]. Как минерал-узник в расплавных включениях рёнит описан в оливинах базанитов Северо-Минусинской впадины и южного Израиля [Тимина и др., 2006; Шарыгин, 2002], в пироксенах из лунного грунта, доставленного станцией Луна-24 [Treiman, 2008], и пироксенах массива Хоут Лор (Haute Loire), Франция [Vabkine et al., 1964]. Наиболее полные об-

зоры по рёниту представлены в работе [Johnston, Stout, 1985; Sharygin et al., 2007].

Рёнит обнаружен нами при изучении расплавных микровключений в оливинах из оливин-анортитовых (Ol-An) включений (алливалитов) в непрерывно дифференцированном потоке (от базальтов до андезитов) вулкана Малый Семячик [Селянгин, 1979] и базальтах прорыва Предсказанный, Ключевского вулкана [Хренов и др., 1985]. Ol-An включения состоят из грубозернистых агрегатов оливина (Fo_{75–80}) и анортита (An_{90–95}) с признаками расслоенности и переходами к эвкритам. Размеры зерен оливина достигают 5 мм, анортита – до 10 мм. В интерстициях между ними часто присутствует некоторое количество остаточного расплава, обычно раскристаллизованного в мелкозернистый пористый долеритоподобный агрегат [Селянгин, 1979]. Рёнитсодержащие оливины высокоглиноземистых базальтов прорыва Предсказанный имеют состав Fo_{84–86}, размеры до 2.5 см и, возможно, являются ксенокристаллами [Хренов и др., 1985] или продуктами дезинтеграции родственных лавам глубинных куммулатов.

Расплавные микровключения имеют эллипсоидальную или неправильную форму, размеры от первых микрон до 0.2–0.3 мм, обычно частично раскристаллизованы. Среди минералов-узников встречаются высокоглиноземистые клинопирок-

Таблица 1. Средние составы рёнита

№ обр.	LS16	LS20	LS26-28	KL119-3	KL119-5
Кол-во анализов	3	6	17	2	2
SiO ₂	25.51	25.45	25.78	29.06	26.35
TiO ₂	5.17	4.82	6.05	3.80	3.19
Al ₂ O ₃	18.87	18.94	18.54	18.67	17.77
Fe ₂ O ₃	13.27	12.53	9.64	8.94	17.20
FeO	13.29	14.02	14.88	17.09	9.53
MnO	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18
MgO,	11.49	11.36	11.34	10.81	13.34
CaO	12.56	12.49	12.41	11.82	11.96
Na ₂ O	0.65	0.45	0.59	0.99	0.75
Сумма	101.00	100.23	99.42	101.33	100.26
Формульные количества на 20 атомов кислорода					
Si	3.4096	3.4299	3.4908	3.8470	3.5157
Ti	0.5198	0.4882	0.6159	0.3779	0.3196
Al	2.9735	3.0091	2.9595	2.9128	2.7953
Fe ⁺³	1.3352	1.2711	0.9827	0.8902	1.7272
Fe ⁺²	1.4850	1.5797	1.6850	1.8918	1.0640
Mn	0.0204	0.0204	0.0205	0.0183	0.0208
Mg	2.2895	2.2813	2.2892	2.1327	2.6541
Ca	1.7993	1.8041	1.8007	1.6765	1.7101
Na	0.1676	0.1163	0.1556	0.2528	0.1932
Mg#	0.61	0.59	0.58	0.53	0.71
Сумма	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000	14.0000

Таблица 2. Расчетные формулы рёнита

№ обр.	Формула
LS16	(Si, ^{IV} Al) ₆ (Ti, ^{VI} Al,Fe ⁺³ ,Fe ⁺² ,Mn,Mg) _{6.03} (Ca,Na) _{1.97} O ₂₀
LS20	(Si, ^{IV} Al) ₆ (Ti, ^{VI} Al,Fe ⁺³ ,Fe ⁺² ,Mn,Mg) _{6.08} (Ca,Na) _{1.92} O ₂₀
LS26-28	(Si, ^{IV} Al) ₆ (Ti, ^{VI} Al,Fe ⁺³ ,Fe ⁺² ,Mn,Mg) _{6.04} (Ca,Na) _{1.96} O ₂₀
KL119-3	(Si, ^{IV} Al) ₆ (Ti, ^{VI} Al,Fe ⁺³ ,Fe ⁺² ,Mn,Mg) _{6.07} (Ca,Na) _{1.93} O ₂₀
KL119-5	(Si, ^{IV} Al) ₆ (Ti, ^{VI} Al,Fe ⁺³ ,Fe ⁺² ,Mn,Mg) _{6.10} (Ca,Na) _{1.90} O ₂₀

сены, шпинели, амфиболы и рёнит. Стекло включений часто пронизано тончайшими дендритами минералов и содержит пузырьки газовой фазы.

Рёнит представлен мелкими (10–50 мк) зернами, ксеноморфными в сростаниях с другими минералами, и с правильными кристаллографическими очертаниями в контактах со стеклом (рис. 1). При весьма значительном количестве изученных расплавных включений, рёнит встречен лишь в немногих из них.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав изученного рёнита (табл. 1) отличается ограниченными вариациями (Si,Al)₆(Ti,Al,Fe⁺³,Fe⁺²,Mn,Mg)₆(Ca,Na)₂O₂₀, (табл. 2). Фигуративные точки составов исследованных рёнитов ложатся в общее поле гораздо более вариативных составов минерала, встречаемых в природе [Johnston, Stout, 1985] (рис. 2).

Клинопироксены наблюдаются либо в мелких кристаллах, либо в каймах обрастания по границе

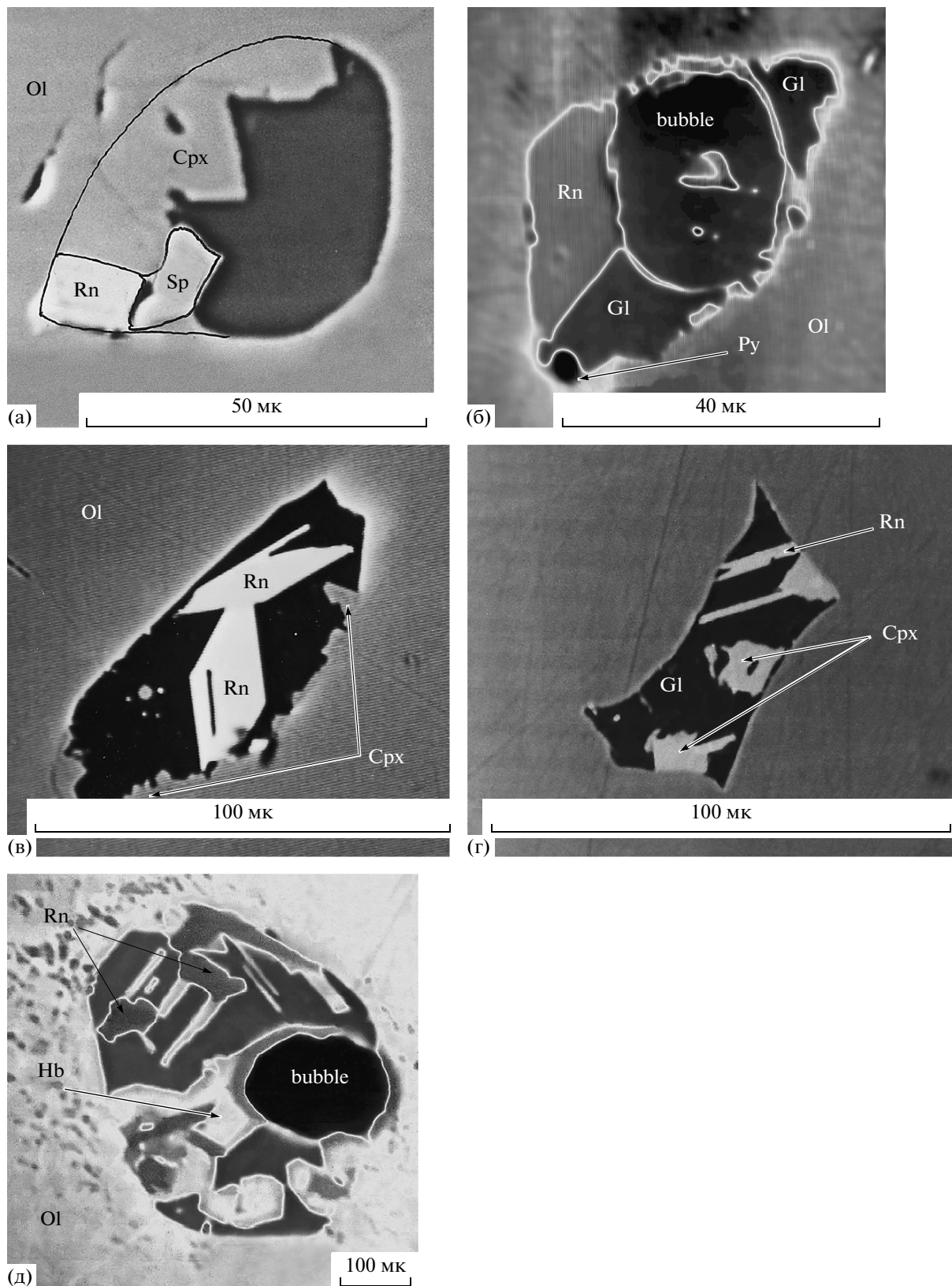


Рис. 1. Микронзондовые фотографии рёнитсодержащих расплавных включений.
 а – обр. LS16, б – обр. LS20, в – обр. LS26-28, г – обр. KL119-3, д – обр. KL119-5.

Ol – оливин, Cpx – клинопироксен, Hb – роговая обманка, Sp – шпинель, Rn – рёнит, Gl – стекло, Py – пирит, bubble – газовый пузырек. Изображения в обратнорассеянных электронах. Фото а, б, д дополнительно обработаны с целью выделения границ минеральных фаз.

оливин-расплав. Характерной особенностью этих пироксенов является их высокая глиноземистость, достигающая иногда 16–17% Al_2O_3 , низкое содержание кремнекислоты (до 38%), повышенное содержание титана. В ранних работах одного из авторов [Ананьев, 1985; Ананьев, Шнырев, 1984] подобные высокоглиноземистые фазы с весьма низким содержанием SiO_2 (38%) были интерпретированы как гранаты вследствие невозможности их оптического изучения. По стехиометрии же такие пироксены и гранаты неразличимы: расчет показывает практически полное соответствие состава этих фаз формуле граната $\text{Si}_6(\text{Ti,Al,Fe}^{+3})_4(\text{Mg,Fe}^{+2},\text{Ca})_6\text{O}_{24}$. Однако, подобные пироксены встречаются и в расплавных включениях, не содержащих рёнита, в целом образуя непрерывный тренд составов с концентрацией Al_2O_3 от 3% до 17%, и комплементарными ему вариациями содержания SiO_2 , которые гранатам не свойственны. Аналогичные пироксены описаны и в работах других авторов [Гриб, Перепелов, 2008; Плечов и др., 2008; Шарыгин, 2002]. Кроме того, столь же высокоглиноземистые (12% Al_2O_3) пироксены описаны как минералы-вкрапления в базальтах Оверни, Эйфеля, района Осло [Добрецов и др., 1971] и в некоторых щелочных и субщелочных породах Камчатка [Вольнец и др., 1990; Савельев, Философова, 2005].

Шпинель представлена высокоглиноземистой безхромовой разновидью с относительно небольшим содержанием трехвалентного железа. Роговая обманка имеет повышенное содержание алюминия и образует как мелкие дендриты, пронизывающие в виде “войлока” стекло включений, так и хорошо сформированные кристаллы.

Стекло включений является дифференциатом первичного расплава, оставшимся после кристаллизации минералов-узников. Оно отличается повышенным содержанием SiO_2 , Al_2O_3 , щелочей, и пониженными содержаниями FeO , MgO и CaO (табл. 3).

Следует отметить, что практически все предыдущие находки рёнита связаны со щелочными породами. Рёнит, описываемый в настоящем сообщении, обнаружен в породах толеитовой и известково-щелочной серий, представленных высокоглиноземистыми базальтами [Хренов и др., 1985], а также высокомагнезиальными (оливин-куммулятивными) базальтами – андезитами, непрерывная серия которых образована фракционированием алливалит-эвкритовой ассоциации и смешением с дацитовой магмой в верхах магматической колонны [Селягин, 1979, 1987].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Многочисленные исследования рёнитсодержащих минеральных ассоциаций позволяют говорить о стабильности парагенезиса рёнита и высокоглиноземистого клинопироксена [Тиминова и др., 2006; Ша-

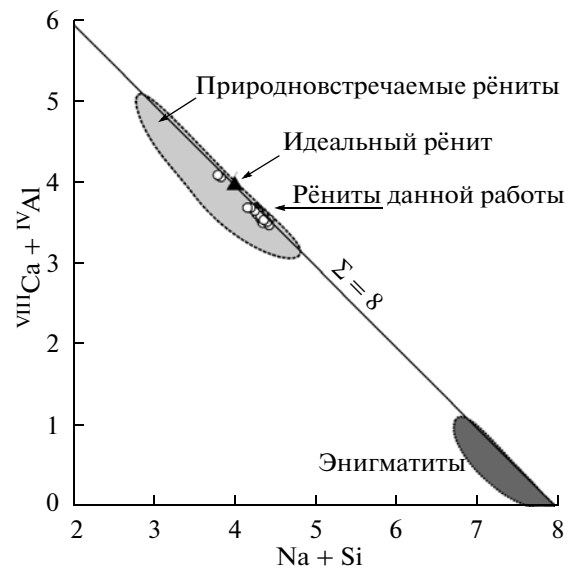


Рис. 2. График зависимости $\text{Na} + \text{Si}$ от $\text{VIII Ca} + \text{IV Al}$ для природновстречаемых рёнитов и энigmatитов в соответствии с [Johnston, Stout, 1985].

рыгин, 2002; Kogarko et al., 2005; Magonthier, Velde, 1976 и др.], в то время как другие сопутствующие фазы характеризуются более изменчивым составом и непостоянством присутствия в этих ассоциациях. Устойчивым признаком расплавных микровключений с рёнитом является также высокая глиноземистость остаточного кислого стекла.

По данным гомогенизации и криометрии рёнитсодержащих расплавных включений в оливинах из пород щелочного состава [Шарыгин, 2002; Шарыгин, Тиминова, 2008], в которых газовые пузырьки содержат жидкую CO_2 , захват включений расплава в ядрах фенокристов оливина происходил при $T > 1300^\circ\text{C}$ и $P > 3\text{--}5$ кбар. Выявляется следующий порядок образования фаз: \pm сульфидная глобула $>$ Al-шпинель ($1320\text{--}1255^\circ\text{C}$) $>$ рёнит ($1260\text{--}1180^\circ\text{C}$) $>$ клинопироксен ($1240\text{--}1130^\circ\text{C}$) $>$ апатит $>$ амфибол, Fe-Ti-оксиды (ильменит или Ti-магнетит) ($>1100^\circ\text{C}$) $>$ стекло ($>1100^\circ\text{C}$). Стекла гомогенизированных включений [Шарыгин, 2002] характеризуются высокими содержаниями FeO (14.4–21), MgO (4.5–7.5), CaO (8.5–11), TiO_2 (2.3–4.5), P_2O_5 (0.7–0.9) и низкими SiO_2 (43.3–46.9), Al_2O_3 (9–14), $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (2.6–5.5 мас. %). Остаточные стекла исходных, не нагревавшихся включений, имеют существенно более кислый состав (в мас. %): SiO_2 – 60.5–61, TiO_2 – 0.2–0.3, Al_2O_3 – 23.2–24.5, FeO – 0.8–1.8, MgO – 0.2–1.5, CaO – 0.4–0.7, Na_2O – 5.2–6.6, K_2O – 4.9–5.8, P_2O_5 – 0.3–0.7, Cl – 0.3–0.4. За исключением не столь резкого повышения щелочей, подобная тенденция дифференциации расплава наблюдается и в рёнитсодержащих включениях из оливина исследованных нами пород нормальной щелочности.

Таблица 3. Составы сопутствующих минералов-узников

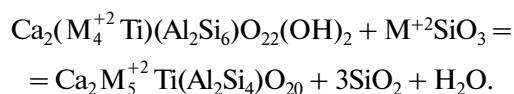
№ обр.	LS16			LS26-28		LS20	KL119-3		KL119-5	
	Срх	Sp	Gl	Срх	Срх	Gl	Срх	Срх	Hb	Gl
SiO ₂	45.42	0.00	63.64	44.37	43.30	64.44	39.49	39.44	42.35	56.85
TiO ₂	1.76	0.44	0.93	1.77	1.84	0.20	2.07	2.57	0.75	0.62
Al ₂ O ₃	10.40	58.13	22.17	13.19	13.52	22.82	15.34	16.91	17.82	23.95
Cr ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe ₂ O ₃	2.20	8.86	0.00	2.00	2.82	0.00	6.29	5.54	8.23	0.00
FeO	7.40	19.97	2.07	7.34	6.08	1.88	5.22	5.43	0.00	2.06
MnO	0.19	0.19	0.04	0.22	0.16	0.04	0.14	0.19	0.27	0.09
MgO	11.30	14.35	0.54	9.77	9.62	0.40	7.67	7.42	15.93	0.67
CaO	20.66	0.00	3.72	21.60	22.50	4.23	22.42	22.28	10.14	4.98
Na ₂ O	0.36	0.00	5.15	0.37	0.26	4.26	0.28	0.45	2.36	4.44
K ₂ O	0.00	0.00	1.54	0.09	0.00	1.20	0.00	0.00	0.20	1.97
H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	0.00
Сумма	99.72	101.94	99.80	100.74	100.10	99.50	98.92	100.23	100.19	95.64

Формульные количества (Срх на 6, Hb на 23, Sp на 32, Gl на 8 атомов кислорода)

Si	1.7021	0.0000	2.8221	1.6489	1.6200	2.8449	1.5137	1.4886	5.9427	2.6645
Ti	0.0499	0.0701	0.0309	0.0496	0.0517	0.0067	0.0595	0.0731	0.0796	0.0220
Al	0.4600	14.4532	1.1589	0.5775	0.5961	1.1876	0.6932	0.7521	2.9480	1.3230
Cr	0.0005	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0012	0.0000	0.0000	0.0007	0.0005
Fe ⁺³	0.0620	1.4066	0.0000	0.0560	0.0795	0.0000	0.1815	0.1575	0.8691	0.0000
Fe ⁺²	0.2322	3.5231	0.0766	0.2281	0.1902	0.0693	0.1673	0.1713	0.0000	0.0809
Mn	0.0061	0.0337	0.0013	0.0068	0.0052	0.0015	0.0045	0.0060	0.0324	0.0037
Mg	0.6311	4.5134	0.0355	0.5412	0.5366	0.0266	0.4384	0.4177	3.3334	0.0465
Ca	0.8298	0.0000	0.1767	0.8602	0.9018	0.2001	0.9208	0.9008	1.5239	0.2501
Na	0.0264	0.0000	0.4427	0.0266	0.0189	0.3645	0.0211	0.0328	0.6418	0.4035
K	0.0000	0.0000	0.0870	0.0045	0.0000	0.0677	0.0000	0.0002	0.0362	0.1176
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
Mg#	0.73	0.56	0.32	0.70	0.74	0.28	0.72	0.71	1.00	0.36
Сумма	4.0000	24.0001	4.8317	4.0000	4.0000	4.7701	4.0000	4.0001	16.4078	4.9123

Примечание. Fe₂O₃ в клинопироксене, роговой обманке и шпинели рассчитывалась в соответствии со стехиометрией данных минералов. Fe₂O₃ в рёните рассчитано в соответствии с [Johnston, Stout, 1985]. Для роговой обманки досчитано содержание воды, в расчете на одну молекулу H₂O. Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН, на микрозонде "Камебакс". Ускоряющее напряжение 20 кв, ток на образце 20 на. Аналитик В.В. Ананьев.

В базанитах вулкана Маунт Сайдли (Западная Антарктика), рёнит и сопутствующие ему минералы кристаллизуются между 1190 и 1090°C и при давлении <0.5 кбар [Grapes et al., 2003]. По данным [Treiman, 2008], рёнит может быть продуктом реакции титано-чермакитового амфибола с пироксеном:



При соответствующей калибровке, как предполагается, данная реакция позволит ограничить пре-

делы возможных значений фугитивности воды и сопутствующих летучих компонентов.

Кажется парадоксальным раннее и длительное (1320–1130°C) выделение столь высокоглиноземистых фаз как шпинель, рёнит и клинопироксен из расплава с таким низким содержанием глинозема, как в гомогенизированном включении [Шарыгин, 2002], сопровождающееся еще и накоплением его в остаточном расплаве. Надо полагать, что указанной ассоциации минералов-узников предшествовала кристаллизация на стенках вакуолей значительной доли вещества минерала-хозяина – оливина, обес-

печивавшая достаточную концентрацию Al_2O_3 ко времени выделения рёнитсодержащей ассоциации. Это должно приводить к существенному увеличению размеров включений при их гомогенизации.

Структурные особенности рёнита позволяют предположить, что он может быть “эффемерной” промежуточной фазой при кристаллизации последовательности шпинель-пироксен [Шарыгин, Тимина, 2008], хотя нами не найдены упоминания о структурах распада рёнита или каких-либо его реакционных отношениях с другими фазами. На наш взгляд, рёнит надо считать редким (редко найденным) акцессорным минералом.

Обзор доступных нам литературных источников показывает широкие пределы параметров его устойчивости: температур (1260–1180°C), давления (4–0.5 кбар), фугитивности кислорода (от соответствующей буферу железо-вюстит в метеоритах [Fuchs, 1971], до определяемой равновесием никель-бунзенит в ситуации замещения амфибола ксенолитов [Grapes et al., 2003]), содержаний (и, видимо, состава) летучих компонентов, а также составов магматических расплавов, из которых рёнит выделялся (от высоко- до нормально-щелочных (толеитовых) и от ультраосновных до кислых). На уровне современного знания, таким образом, не обнаруживается какого-то критического фактора или группы факторов, обуславливающих появление рёнита, хотя статистически в качестве благоприятствующих “высвечиваются” повышенная щелочность расплавов и повышенное давление.

Теоретически, эволюция охлаждающейся магмы, захваченной минералами в виде микровключений, должна протекать аналогично эволюции основного объема магмы за пределами фенокристаллов, чему, в общем случае (качественно) соответствует отмеченное выше нахождение рёнита и в расплавных включениях, и в основной массе оливинных и безоливинных (отделивших оливин) щелочных пород. Для вулканитов существенное отличие в характере кристаллизации расплава микровключений и магмы основного объема может быть связано с подъемом последней выше уровня вскипания, когда главным фактором кристаллизации становится потеря магмой летучих компонентов, сопровождаемая их фракционированием, но не затрагивающая содержимого изолированных в минералах микровключений. Аналогичным образом вскипают и кристаллизуются интерстициальные расплавы выносимых вулканитами обломков (нодулей) родственных им кумулатов. Количественные соотношения минералы/расплав в рёнитсодержащих включениях (см. рис. 1) сопоставимы со степенью кристалличности этих интерстиций и основных масс нормально щелочных пород основного – среднего состава, сложенных, однако, ординарными одно- или двупироксен-плагиоклазовыми ассоциациями с титаномагнетитом (\pm ильменит) и низкоглиноземистым

кислым стеклом. Является ли отсутствие в них свободного (не “узника”) рёнита – хотя бы в виде реликтов – вопросом более тщательного его поиска или какого-то существенного различия условий эволюции “законсервированного” и свободного магматического расплава – интригующая петрогенетическая проблема, разрешение которой требует более широких и детальных исследований, с привлечением тонких геохимических и экспериментальных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананьев В.В.* Происхождение ОI-Ап сегрегаций в вулканитах по результатам изучения шпинелей и расплавных включений // Тез. докладов VI Всесоюзного вулканологического совещания. Вып. 2. Петропавловск-Камчатский, 1985. С. 124–126.
- Ананьев В.В., Шнырев Г.Д.* Гранат в расплавных включениях из оливина ОI-Ап сегрегаций (вулкан Ксудач, Камчатка) // ДАН. 1984. Т. 274. № 2. С. 402–406.
- Вольнец О.Н., Успенский В.С., Аношин Г.Н. и др.* Эволюция геодинамического режима магнаобразования на Восточной Камчатке в позднем кайнозое (по геохимическим данным) // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5. С. 14–27.
- Гриб Е.Н., Перелов А.Б.* Оливинсодержащие базальты Карымского вулканического центра: минералогия, петрогенезис и источники магм // Вулканология и сейсмология. 2008. № 4. С. 14–35.
- Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутюлин В.А.* Породообразующие пироксены М.: Наука, 1971. 454 с.
- Плечов П.Ю., Шишкина Т.А., Ермаков В.А., Портнягин М.В.* Условия формирования алливалитов – оливин-анортитовых кристаллических включений – в вулканитах Курило-Камчатской дуги // Петрология. 2008. Т. 16. № 3. С. 275–276.
- Савельев Д.П., Филоsofova Т.М.* Минералогические особенности меловых щелочных базальтов п-ва Камчатский мыс (восточная Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2005. № 5. С. 94–102.
- Селянгин О.Б.* Непрерывно-дифференцированные потоки лав с включениями и вероятное устройство области дифференциации магмы под вулканом // Бюлл. вулканол. станций. 1979. № 57. С. 39–52.
- Селянгин О.Б.* Петрогенезис базальт-дацитовой серии в связи с эволюцией вулcano-структур. М.: Наука, 1987. 152 с.
- Тимина Т.Ю., Шарыгин В.В., Головин А.В.* Эволюция расплава в процессе кристаллизации базанитов трубки Тергешская, Северо-Минусинская впадина // Геохимия. 2006. № 8. С. 814–833.
- Хренов А.П., Ананьев В.В., Балувев Э.Ю. и др.* Петрология продуктов извержений Ключевского вулкана (прорыв Предсказанный, 1983 г.) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 1. С. 47–70.
- Шарыгин В.В.* Включения расплава в оливине из базанита Махтеш Рамон, южный Израиль // Тез. докладов на Всероссийском семинаре “Геохимия магматических пород”. Школа “Щелочной магматизм Земли –

2002". <http://alkaline2002.narod.ru/abstracts/sharigin.html>

Шарыгин В.В., Тимина Т.Ю. Рёнит в щелочных базальтах: потенциальный индикатор P-T- f_{O_2} условий (по данным изучения включений расплава) // Тез. докладов на Всероссийском семинаре "Геохимия магматических пород". Школа "Щелочной магматизм Земли – 2008". <http://geo.web.ru/conf/alkaline/2008/Sharigin3.htm>

Babkine J., Conquere F., Vilminot J.C., Duong P.K. Sur un nouveaugiagement de rhonite (Monistrol-d'Allier, Haute Loire) // C.R. Acad. Sci. 1964. Paris. Ser D 258. P. 5479–5481.

Fuchs L.H. Occurrence of wollastonite, rhonite and andradite in the Allende meteorite // Amer. Miner. 1971. V. 56. P. 2053–2067.

Grapes R.H., Wysoczanski R.J. Hoskin Rhonite paragenesis in pyroxenite xenoliths, Mount Sidley volcano, Marie Byrd Land, West Antarctica // Mineralogical Magazine. 2003. V. 67. № 4. P. 639–651.

Johnston A.D., Stout J.H. Compositional variation of naturally occurring rhoenite // Amer. Miner. 1985. V. 70. P. 1211–1216

Kogarko L.N., Hellebrand E., Ryabchikov I.D. Trace element partitioning between rhonite and silicate melt in Cape Verde volcanics // Геохимия. 2005. № 1. С. 3–9.

Magonthier M.C., Velde D. Mineralogy and Petrology of Some Tertiary Leucite-Rhonite Basanites from Central France // Mineralogical Magazine. 1976. V. 40. № 316. P. 817–826.

Mineral Data Publishing. 2001. Version 1.2. <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/rhonite.pdf>

Sharygin V.V., Szaby Cs., Kythay K. et al. Rhonite in silica-undersaturated alkali basalts: inferences on silicate melt inclusions in olivine phenocrysts // Alkaline magmatism, its sources and plumes. Irkutsk-Napoli. Irkutsk. 2007. P. 157–182.

Treiman A.H. Rhonite in Luna 24 pyroxenes: First find from the Moon, and implications for volatiles in planetary magmas // American Mineralogis. 2008. V. 93. № 2/3. P. 488–491.

Rhonite in Molten Inclusions from the Olivine of Allivalite Nodules from Malyi Semyachik Volcano and Basalts of Klyuchevskoi Volcano, Kamchatka

V. V. Anan'ev^a and O. B. Selyangin^b

^a Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, Bul. Piipa 9, 683006 Russia

e-mail: avv@kscnet.ru

^b Geotechnological Research Center, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, Severo-vostochnoe shosse, 30, 683002 Russia

Abstract—A microprobe study of olivine found in allivalite nodules from lavas discharged by Malyi Semyachik Volcano and of olivine phenocrysts from basalts discharged by Klyuchevskoi Volcano revealed the presence of rhonite as a daughter mineral, for the first time ever. Rhonite was found in small (10–50 μm) grains that are xenomorphic in intergrowths with other minerals and have regular crystallographic outlines in contact with glass. We also found high-alumina clinopyroxene, chromium-free spinel, and hornblende. Residual glass is distinguished by its higher concentrations of SiO_2 , Al_2O_3 , alkalis, and by lower concentrations of FeO , MgO , and CaO . The chemical composition of the rhonite we studied is characterized by limited variations of the major components and fits the formula $(\text{Si},\text{Al})_6(\text{Ti},\text{Al},\text{Fe}^{+3},\text{Fe}^{+2},\text{Mn},\text{Mg})_6(\text{Ca},\text{Na})_2\text{O}_{20}$ well. The data points in the composition of the rhonites we have studied lie in the overall field of much more variable compositions to be found in the field. Unlike the previous findings in alkaline and subalkaline rocks, the rhonite we describe in the present report was found in rocks of the tholeiitic and calc-alkaline series.