

**СОЛЕВОЙ СОСТАВ ФЛЮИДА В ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЯХ
В МИНЕРАЛАХ РОДИНГИТОВ КАРАБАШСКОГО МАССИВА ГИПЕРБАЗИТОВ
(Ю. УРАЛ) ПО ДАННЫМ ТЕРМОКРИОМЕТРИИ**

В.В. Мурзин, Ю.И. Клюкин

Родингиты – породы, сложенные кальциевыми силикатами (пироксеном, гранатом, везувианом, цоизитом, хлоритом, кальцитом, ксенолитом и др.), весьма широко распространены в массивах гипербазитов. Обычно они относятся к продуктам биметасоматоза и развиваются на контактах даек и ксенолитов магматитов среднего и основного состава. В некоторых случаях богатый кальцием протолит родингитов не устанавливается, и в таком случае родингиты рассматриваются как гидротермальные жилы или же относятся к апогипербазитовым продуктам приразломного инфильтрационного метасоматоза. К родингитам последнего типа нами отнесены хлорит-гранат-пироксеновые породы (хлограпиты) Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале, необычной чертой которых является их высокая золотоносность. Это зональные гидротермально-метасоматические образования, сформированные в 3 стадии [Мурзин, Шанина, 2007]. Внутренняя, собственно родингитовая зона представлена хлорит-андрадит-диопсидовыми породами 1 стадии, пересекающимися существенно диопсидовыми прожилками 2 стадии и кальцитовыми 3 стадии. Промежуточная зона, сложенная хлоритолитами, сменяется во внешней зоне антигоритовыми и хризотил-ликардитовыми серпентинитами.

Взгляды на происхождение родингитизирующего флюида в изученном массиве гипер-

базитов неоднозначны. Е.А. Кузнецов, А.П. Переляев, Н.И. Бородаевский связывали родингиты с «гранитизирующими» растворами. Другие исследователи (М.П. Ложечкин, Р.О. Берзон, В.Н. Сазонов и другие) относят родингиты к продуктам приразломной антигоритизации под воздействием мантийных флюидов. В [Спирidonov, Плетнев, 2002] предложена комбинированная модель их формирования. Согласно этой модели, ранние родингиты образовались при участии метаморфогенного флюида – продукта регионального метаморфизма гипербазитов, а поздние родингиты сформированы при локальном метаморфизме под воздействием флюидного магматогенного H_2O-CO_2 потока, сопряженного со становлением тел гранодиоритов. Нами развивается модель метаморфогенного происхождения родингитизирующего флюида в изученном массиве [Мурзин, 2006].

В настоящей статье приводятся результаты исследования минералообразующей среды, заключенной в минералах родингитов Карабашского массива в виде газовой-жидких включений (ГЖВ) методом термокриометрии. Исследование включений осуществлялось на термокриостоліке THMSG-600 фирмы «Linkam» (Англия), позволяющем производить измерения температур фазовых переходов внутри включений в диапазоне температур $-196...+600$ °С. Солевой состав растворов определялся по температурам плавления эвтектик ($T_{эвт}$)

ПЕТРОЛОГИЯ

Таблица 1

Результаты термодатиметрии газовой-жидкой включений в минералах родинитов месторождения Золотая Гора и расчетных значений солености флюида

№ обр./вкл.	Минерал	T _{эвт} , °C	T _{пл} , °C	T _г , °C	Соленость, %, экв. NaCl
1268/1	гранат		-2,2	144	3,7
1268/2	то же		-2,3	207	3,9
1270-1/1	-«-		-2,3	182	3,9
1270-1/2	-«-		-3,2	178	5,3
1270-1/5	-«-		-3,0	205	5,0
1270-1/4	диопсид		-2,9	185	4,8
1289/1	то же		-4,2	140	6,7
1289/2	-«-		-3,2	160	5,3
1289/3	-«-		-2,6	251	4,3
1289/8	-«-	-39	-1,5	122	2,6
1289/10	-«-		-2,6	132	4,3
1289/11	-«-	-38	-3,3	167	5,4
1289/12	-«-		-2,4	215	4,0
1270-2/1	-«-		-2,3	197	3,9
1270-2/2	-«-		-2,3	130	3,9
1270-2/3	-«-		-0,5	136	0,9
1270-2/4	-«-	-33,3	-2,2	261	3,7
1270-2/5	-«-		-2,6	182	4,3
1270-2/6	-«-		-2,5	167	4,2
1270-2/7	-«-	-34,6	-2,7	308	4,5
1296/4	-«-		-2,7	197	4,5
1296/5	-«-		-2,6	201	4,3
1296/6	-«-		-2,2	205	3,7
1296/7	-«-		-2,6	205	4,3
1296/8	-«-		-3,5	203	5,7
1296/10	-«-		-2,1	260	3,6
1296/12	-«-		-1,5	198	2,6
1301/1	кальцит	-47,2	-2,4	302	4,0
1301/3	то же		-2,5	225	4,2
1301/4	-«-		-2,4	235	4,0
1301/5	-«-		-2,0	201	3,4
1301/6	-«-		-5,3	250	8,3
A (5)	-«-	-35,5	-4,1	245	6,6
B (13)	-«-	-30,6	-2,5	189-173	4,2
C (15)	-«-	-36,8	-4,3	202-155	6,9
D (13)	-«-	-34,5	-5,1	202	8,0
E (11)	-«-	-30,8	-4,1	202-142	6,6
F (19)	-«-	-34,5	-2,3	185-140	3,9
G (12)	-«-	-35,6	-4,7	182-147	7,4

Примечание: образцы представляют: 1 стадию формирования родинитов (1268, 1270-1), совмещенные 1 и 2 стадии (1270-2, 1296), 2 стадию (1289) и 3 стадию (1301, A-G). Данные по образцам A-G заимствованы в [Спиридонов, Плетнев, 2002]. Они представляют собой усредненные характеристики для количества включений, указанных в скобках.

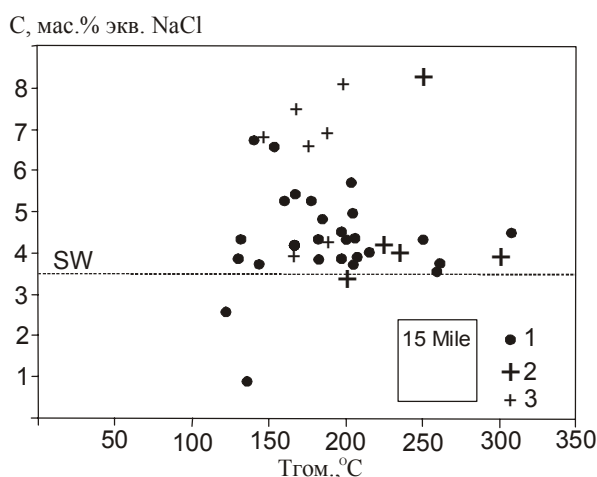


Рис. 1. Соотношение температуры гомогенизации и солёности раствора газожидких включений в минералах различных стадий родингитов Золотой Горы. SW – солёность морской воды.

1 – в гранате и диопсиде 1 и 2 стадий; 2, 3 – в кальците 3 стадии по нашим (2) и литературным (3) данным [Спиридонов, Плетнев, 2002]. На диаграмму нанесено поле для включений из золотоносных родингитов проявления 15 Mile (Британская Колумбия).

[Борисенко, 1977; Боровиков и др., 2002]. Концентрация солей во включениях оценивалась по температурам плавления льда ($T_{пл}$) для солевой системы $NaCl-H_2O$ [Bodnar, Vityk, 1994].

ГЖВ присутствуют в минералах всех стадий родингитов – кальците, диопсиде, хлорите и гранате. Они представлены тремя группами – первичными, псевдвторичными и вторичными. Первичные включения имеют полигональную, угловато-изометричную, клиновидную форму и размеры менее 40 мкм. Они произвольно локализованы в зернах минералов и лишь иногда в диопсиде отчетливо трассируют зоны роста его кристаллов. Первичные ГЖВ двухфазные (Ж+Г) с объемом газового пузырька 20-30 %. При замораживании пузырек резко сокращается в объеме и деформируется, иногда принимая угловатые контуры, которые сглаживаются при температуре плавления эвтектики. Псевдвторичные включения являются преобладающими в своей массе. Для них характерны те же формы, размеры и фазовый состав, что и для первичных включений. В краевых частях крупных зерен диопсида они часто имеют форму отрицательных кристаллов, вытянутых в направлениях граней призмы или залеченных трещин спайности. При замо-

раживании газовый пузырек объемом 5-15 % резко исчезает и также резко появляется при температуре плавления льда. Вторичные включения приурочены к трещинам, рассекающим кристаллы диопсида в различных направлениях. Они имеют размеры менее 5 мкм, обычно однофазный состав (Ж). Такие включения нами не изучались.

Ранее нами было показано, что гомогенизация первичных и псевдвторичных включений происходит в жидкую фазу в широком диапазоне температур (T_r) – 115-325 °С [Мурзин и др., 2004; Мурзин и др., 2007]. При этом большинство включений в минералах всех стадий имеет $T_r=140-220$ °С, что существенно ниже температуры минералообразования (T_m) в родингитах – 420-470 °С, оцененной по парагенетическим ассоциациям минералов. Низкие значения T_r объясняются нами достаточно высоким давлением формирования родингитов, когда T_r может быть значительно ниже T_m . T_r и T_m становятся близкими при условии, что давление при формировании родингитов 1 стадии было 2-3 кбар, а 2 и 3 стадий 1-2 кбар.

Для значительного числа ГЖВ удалось определить $T_{пл}$, а для отдельных наиболее крупных включений и $T_{эвт}$ (табл. 1). Значения $T_{пл}$ в большинстве включений в минералах 1 и 2 стадий отвечают растворам низкой солёности – 0,5-6,7 мас. % экв. NaCl, что лишь немного превышает солёность морской воды (рис. 1). В тоже время ГЖВ в кальците 3 стадии по концентрации солей разбились на две группы. Одна группа включений содержит раствор той же солёности, что и в минералах 1 и 2 стадии. Во включениях второй группы заключен раствор с большей концентрацией солей – 6,6-8,3 мас. % экв. NaCl.

$T_{эвт}$ двух включений из диопсида 2 стадии в родингите составила -33,3 и -34,6 °С. Эти значения свидетельствуют о формировании родингитов из существенно хлоридно-магниевого флюида ($T_{эвт}$ для системы $MgCl_2$ – вода -33,6 °С). Более низкие значения $T_{эвт}$ (-38 и -39 °С) зафиксированы для включений из диопсидового прожилка этой стадии во вмещающем серпентините, что указывает на усложнение солевой системы за счет возможного появления в ней NaCl, KCl, $FeCl_3$ или же, что наиболее вероятно, примесей $CaCl_2$. Температура эвтектики $T_{эвт}$ для включений из кальцита 3 стадии, варьирующая в пределах -30,6... -36,8 °С приводятся в [Спиридонов, Плетнев,

Таблица 2
Флюидный режим формирования родингитов по данным термодриометрии газовой-жидкой включений в минералах

Местоположение родингитов	Минералы	T _г	T _м	P, кбар	T _{эпг} , °C	Водно-солевая система (примесь)	T _{пл} , °C	Концентрация солей, мас. % экв. NaCl	Источник данных
Карабашский массив, Ю.Урал	диопсид, гранат, кальцит	115-325		1-3	-30,6...-39; -47,2	MgCl ₂ (CaCl ₂)	-0,5...-5,3	0,9-8,3	Наши данные
Баженковский массив, Ср. Урал	диопсид, гранат, везувиан	220-380 250-320			-33,0...-38,2	MgCl ₂ (CaCl ₂)	-1,2...-4,5 -6...-13,5	2,1-7,2; 9,2-17,3	То же
Проявление 15 Mile (Британская Колумбия, Канада)	гранат, диопсид	230-280			-30...-43	MgCl ₂ (CaCl ₂)	-0,2...-1,4	0,4-2,4	Knight, Leitch, 2001
Cassiar serpentinite (Британская Колумбия, Канада)	клиноцоизит, грюсулярь, диопсид		264-336	Менее 0,8				6,5-9,5	O'Hanley et al., 1992
Пояс Atibiti (Онтаро, Канада)	диопсид	196-216	270-330	1-2			0,1...-2,4	0-4	Schandl et al., 1990
Lician peridotite (Турция)	грюсулярь		250-450					8	Schandl, Mittwede, 2001
Свита Hammet Grove, США			350-500					4,3-6,3	Mittwede, Schandl, 1992
Массив Voltri (3. Альпы, Италия):	диопсид	297-327			19,6...-23,0	NaCl (KCl)	-1,0...-3,1	1,7-5,0	Vallis, Scambelluri, 1996
Массив Jordanov-Golow (Польша)	циркон	190-208	270-300	0,9-1,1		CaCl ₂ , CaCl ₂ (NaCl)		4,7-5,2	Dubinska E. et al., 2004

2002], и интерпретирована авторами как отвечающая солевой системе NaCl-KCl-MgCl_2 с небольшим количеством CaCl_2 . Учитывая, что минералы K и Na не характерны для изученных родингитов, мы полагаем, что кальцит отлагался, как и минералы 1 и 2 стадий, из раствора MgCl_2 с небольшим количеством CaCl_2 . В данном исследовании нам удалось определить $T_{\text{звт}}$ лишь в одном включении из кальцита. Полученное значение $T_{\text{звт}} = -47,2$ °C в этом включении свидетельствует о том, что локально раствор мог быть существенно хлоридно-кальциевым ($T_{\text{звт}}$ для системы CaCl_2 – вода составляет $-49,8$ °C).

Нами собраны литературные данные по термокриометрическим характеристикам ГЖВ из различных родингитов мира (табл. 2). Эти данные оказались немногочисленными, и при этом лишь один из объектов – проявление 15 Mile принадлежит золотоносным образованиям. Родингиты этого проявления содержат ГЖВ с практически теми же термокриометрическими параметрами, что и включения в родингитах Карабашского массива, отличаясь лишь более низкой концентрацией в них солей – менее солености морской воды (см. рис. 1). Судя по имеющимся данным, невысокая соленость флюида (менее 10 мас. % экв. NaCl) – характерная черта всех родингитов. В солевом составе родингитизирующего флюида, как правило, преобладают MgCl_2 и CaCl_2 , хотя в некоторых случаях могут присутствовать и даже играть определяющую роль KCl и NaCl.

Изотопное исследование родингитов Карабашского массива указывает на метаморфогенное происхождение родингитизирующего флюида, генерировавшегося при дегидратации серпентинитов океанического дна [Мурзин, 2006]. Данные о низкой солености минералообразующей среды, заключенной в ГЖВ золотоносных родингитов, соответствуют представлениям об уровне концентраций солей во флюиде, сформированном при метаморфизме океанических осадков или же в аккреационных призмах [Yardley, Graham, 2002].

Исследование осуществлялось при финансовой поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 04-05-64679), грантов Минобрнауки РНП.2.1.1.1840 и «Поддержка ведущих научных школ» (НШ-1227.2008.5).

Список литературы

Борисенко А.С. Изучение солевого состава газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16-27.

Боровиков А.А., Гущина Л.В., Борисенко А.С. Определение хлоридов железа (II, III) и цинка в растворах флюидных включений при криометрических исследованиях // Геохимия. 2002. № 1. С. 70-79.

Мурзин В.В. Происхождение флюида при формировании золотоносных родингитов по изотопным данным (на примере Карабашского массива альпинотипных гипербазитов, Южный Урал) // ДАН. 2006. Т. 406. № 5. С. 683-686.

Мурзин В.В., Сазонов В.Н., Берлимбаев О.М. О температурном режиме формирования золотоносных метасоматитов месторождения Золотая Гора (Карабашское) // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 333-338.

Мурзин В.В., Шанина С.Н. Флюидный режим формирования и происхождение золотоносных родингитов Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале // Геохимия. 2007. № 10. С. 1085-1099.

Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. Месторождение медистого золота Золотая Гора. М.: Научный мир, 2002. 220 с.

Bodnar R.J., Vityk M.O. Interpretation of microthermometric data for $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Edited by: Benedetto De Vivo and Maria Luce Frezzotti. Pontignano-Siena. 1994. P. 117-130.

Dubincka E., Bylina P., Kozlovski A. et al. U-Pb dating of serpentinization: hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland) // Chemical Geology. 2004. V. 203. P. 183-203.

Knight J., Leitch C.H.B. Phase relations in the system Au-Cu-Ag at low temperatures, based on natural assemblages // Canadian Mineralogist. 2001. V. 39. P. 889-905.

Mittwede S.K., Schandl E.S. Rodingites from the southern Appalachian Piedmont, South Carolina, USA // European Journal of Mineralogy. 1992. V. 4(1). P. 7-16.

O'Hanley D.S., Schandl E.S., Wicks F.J. The origin of rodingites from Cassiar, British Columbia, and their use to estimate T and P (H_2O) during serpentinization // Geochimica et Cosmochi-

ПЕТРОЛОГИЯ

mica Acta. 1992. V. 56. Is. 1. P. 97-108.

Shandl E.S., O'Hanley D.S., Wicks F.J. Fluid inclusions in rodingite: a geothermometer for serpentization // Economic geology. 1990. V. 85. P. 1273-1276.

Schandl E.S., Mittwede S.K. Evolution of acipayam (Denizli, Turkey) rodingites // International Geology Review. 2001. V. 43. № 7. P. 611-623.

Vallis F., Scambelluri M. Redistribution of high-pressure fluids during retrograde metamorphism of eclogite-facies rocks (Voltri Massif, Italian Western Alps) // Lithos. 1996. V. 39. P. 81-92.

Yardley B.W.D., Graham J.T. The origins of salinity in metamorphic fluids // Geofluids. 2002. V. 2. P. 249-256.