

**ИСТОЧНИКИ ФЛЮИДОВ ДЛЯ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ МАГНЕЗИТОВ
ИСМАКАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНО-УРАЛЬСКОЙ
ПРОВИНЦИИ (ТЕРМОКРИОМЕТРИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ)**

© 2015 г. М. Т. Крупенин, А. А. Гараева

*Институт геологии и геохимии УрО РАН
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7
E-mail: krupenin@igg.uran.ru*

Поступила в редакцию 03.02.2015 г.

Рассольный характер флюидных включений в магнезитах Исмакаевского месторождения подтверждается не только данными **Cl-Br ионной систематики, но и методами термокриометрии. Среднее значение** солёности включений из магнезитов составляет 23.6 (вариации 20.7–25.8) мас. % экв. NaCl. В солевом составе включений, судя по температурам эвтектики при микрокриометрическом изучении (от –50.8 до –56.2°C), преобладают хлориды магния, натрия и кальция. Температуры гомогенизации двухфазных включений укладываются в интервал 184–279°C при среднем значении 224°C. В метасоматическом тонкозернистом (льдином) кварце, сингенетичном с магнезитом, также наблюдается высокая солёность флюидных включений (24.1–24.9 мас. % экв. NaCl) и **устойчивые температуры гомогенизации (216–245°C)**. Гигантозернистый молочно-белый более поздний кварц имеет пониженную относительно магнезита и метасоматического кварца солёность (11.5–17.1 мас. % экв. NaCl) и **температуру гомогенизации (169–245°C)**.

Ключевые слова: *магнезит, кварц, рассолы, микрокриометрия флюидных включений.*

Одно из крупнейших в Южно-Уральской провинции Исмакаевское месторождение кристаллических магнезитов является перспективной сырьевой базой получения огнеупорного периклаза для нужд металлургической промышленности Башкортостана с разведанными запасами около 100 млн т¹. Относительно генезиса месторождений кристаллического магнезита до сих пор существуют две основные точки зрения, которые сводятся к представлениям об их осадочном либо гидротермально-метасоматическом происхождении (Генетические типы..., 1984; Главнейшие..., 1993; Анфимов, 1997; Шевелев и др., 2003; и др.). Сторонники гидротермально-метасоматического генезиса расходятся во мнениях относительно природы рудного флюида: он рассматривается или как катагенетический из осадочного бассейна (Анфимов, Бусыгин, 1982; Анфимов, 1997) или постмагматический (Швецов и др., 1986; Тимесков, 1983). Нашими исследованиями состава флюидных включений в магнезитах данного месторождения было показано, что по отношениям молярных концентраций **Cl/Br и Na/Br они соответствует эвапоритово-**

му флюиду, т.е. рассолу с высоким содержанием брома (Крупенин и др., 2009). Этот вывод находится в соответствии с данными по другим месторождениям Южно-Уральской провинции и позволяет предполагать, что источником флюида для образования магнезитовых месторождений были захороненные эвапоритовые рассолы. Следовательно, включения в метасоматических магнезитах должны иметь повышенную солёность. В наших исследованиях данное предположение проверялось для Исмакаевского месторождения методом микрокриометрии.

Исмакаевское магнезитовое месторождение приурочено к суранской свите нижнего рифея и расположено в центральной части Ямантауского антиклинория (Генетические типы..., 1984; Шевелев и др., 2003; Анфимов, Бусыгин, 1982). По данным геологоразведочных работ, магнезиты формируют сложную залежь общей мощностью до 400 м, состоящую из сближенных пластообразных тел, вытянутых согласно слоистости вмещающих доломитов и разделенных пропластками глинистых доломитов и глинистых сланцев (Генетические типы..., 1984). Магнезит среднекристаллический, размер изометричных зерен 1–5 мм, редко наблюдаются вытянутые (стрельчатые) кристаллы до 20–30 мм (рис. 1а). Характерной особенностью данного месторождения является повышенное содержание кварца в магнезитах, составляющее до 10%

¹ Фаткуллин Н.А. Отчет о предварительной разведке Исмакаевского месторождения магнезитов за 1992–1997 гг. с подсчетом запасов на 01.01.1998. Кн. 1 и 2. Башкирский республиканский геологический фонд. Уфа, 1997 г.

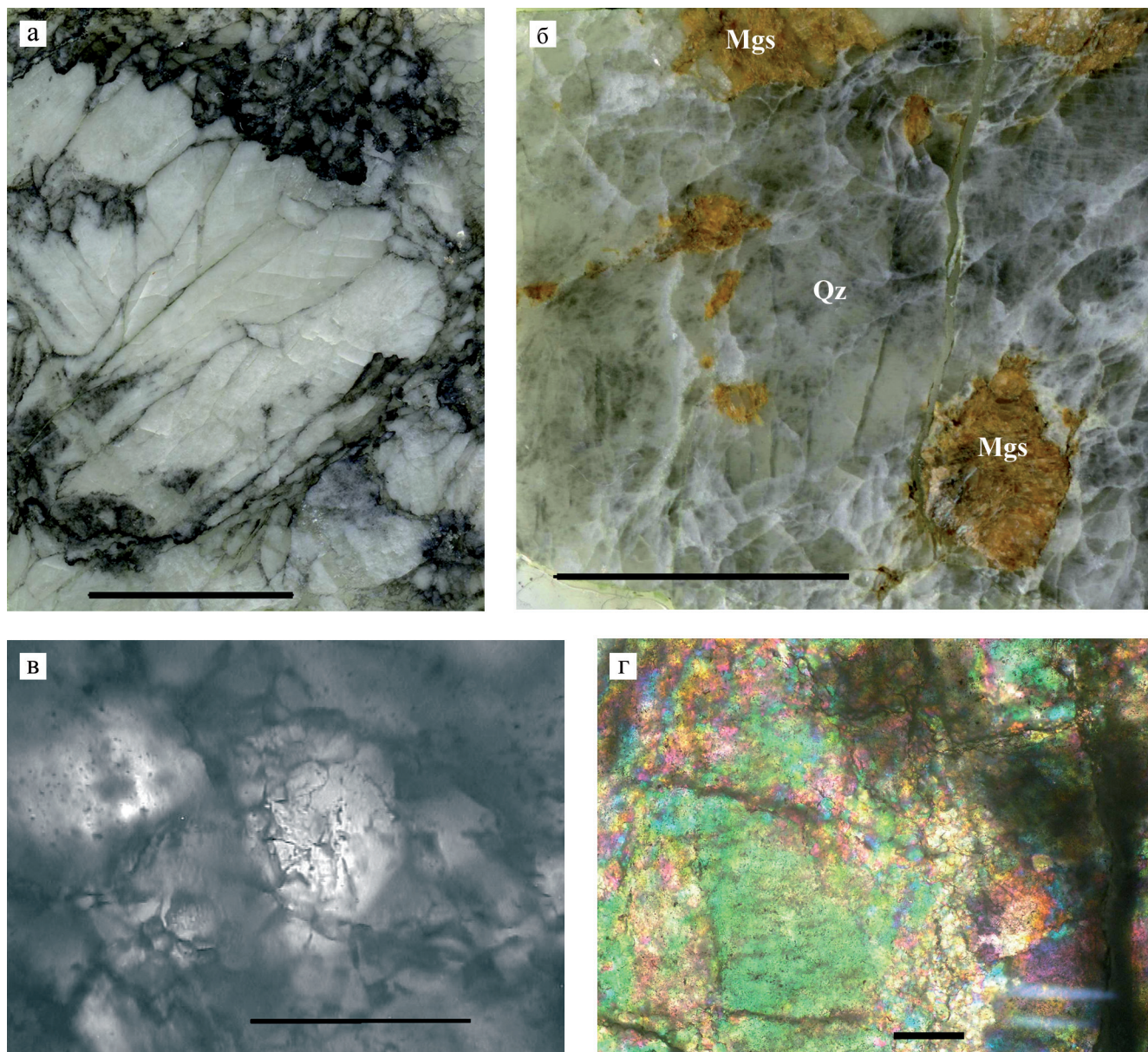


Рис. 1. Морфология выделений магнезита и кварца в двусторонних полированных пластинках.

а – крупнокристаллический магнезит; б – гнезда обохренного железистого магнезита (Mgs) в метасоматическом льдистом кварце (Qz); в – изометричные кристаллы тонкозернистого метасоматического кварца (неполяризованный свет); г – перекристаллизация мозаичной структуры метасоматического кварца с образованием крупных кристаллов (никили скрещены). а, б: линейка – 10 мм; в, г: линейка – 0,1 мм.

Fig. 1. Metasomatic magnesite and quartz of the Ismakaevo deposit in bilateral polished plates.

а – coarse-grained (sparry) magnesite; б – nests of the ochric magnesite (Mgs) in the icy metasomatic quartz (Qz); в – isometric crystals of fine-grained metasomatic quartz (unpolarizable light); г – recrystallization of the mosaic structure of metasomatic quartz to form large crystals (crossed nicols); а, б: – line is 10 mm; в, г: – the same is 0.1 mm.

(Генетические типы..., 1984; Шевелев и др., 2003). Кварц выделяется в виде гнезд неправильной формы размером до первых дециметров (тонкокристаллический серый) и секущих прожилков (крупнокристаллический молочно-белый). Магнезиты имеют метасоматические контакты с вмещающи-

ми доломитами, пересекающие реликтовую слоистость. В доломитах в экзоконтакте отмечается вкрапленность кристаллов магнезита размером до нескольких миллиметров. На расстоянии до 500 м по простиранию доломитов нами обнаружен метасоматический контакт с известняками суранской

свиты нижнего рифея (Крупенин и др., 2008). Таким образом, магнезиты представляют собой эпигенетическое образование, развивающееся по вмещающим известнякам с образованием зоны метасоматических доломитов.

Исследования выполнялись на термокриостолке LinkamTHMSC-600, установленном на микроскопе ZeissAxioLab с дальноточными объективами OlympusLMPLFLN50x и LMPLFLN100x. Методика позволяет получить результаты измерения температур фазовых переходов внутри включений в диапазоне температур от -196 до $+600^{\circ}\text{C}$. Впервые изучены совместно соленость и гомогенизация в каждом двухфазном включении.

Материалом послужили двухсторонние полированные пластинки из трех образцов керна крупнокристаллических магнезитов (см. рис. 1а) и двух образцов кварца: тонкозернистого (льдиного) и гигантозернистого молочно-белого, из опытного карьера в южной части месторождения. Предполагается, что образование льдиного кварца связано с магнезитами, поскольку наблюдаются взаимные прорастания данных минералов (см. рис. 1б). Гнезда кварца в магнезите достигают размера 0.5 м; наблюдаются две генерации кварца: ранний (метасоматический) – тонкозернистый серый разных оттенков полупрозрачный, сингенетичный магнезиту (см. рис. 1в), и поздний – гигантозернистый (размер кристаллов 10 – 100 мм) молочно-белый, образующий секущие жилородные зоны в сером метасоматическом кварце и магнезите. Метасоматический кварц серого цвета имеет льдистый облик, мозаичную структуру, размер зерен 0.02 – 0.06 мм, форма их изометричная (см. рис. 1в), текстура пятнистая. Текстура обусловлена развитием в тонкозернистом кварце участков с блоками крупнокристаллического светло-серого кварца, вероятно развивающегося по тонкозернистому. Размер таких блоков от 0.2 – 0.5 мм до первых миллиметров, скорее всего, они представляют собой результат перекристаллизации (см. рис. 1г). Поздний молочно-белый кварц местами подвержен разлистыванию (содержит систему субпараллельных трещин, разбивающих его на уплощенные блоки и даже пластины).

Изучение солевого состава и температур образования газовой-жидких включений в магнезитах выполнено из образцов керна разведочного бурения, поскольку магнезит из обнажений и из опытного карьера на Исмакаевском месторождении подвержен поверхностному выветриванию и не пригоден для подобных исследований. Несмотря на сложность поиска включений в такой древней карбонатной породе, испытавшей неоднократные тектонические подвижки, нарушения по спайности, очень высокое двупреломление в железистом магнезите (Крупенин и др., 2008), удалось изучить состав 15 двухфазных включений, природа которых наи-

более соответствует первичным. Размер включений варьирует от 5 до 14 мкм (среднее 9 мкм), форма в виде негативного кристалла, реже неправильная (рис. 2а–г). Насыщенность включений фазой водяного пара составляет 10 – 30% . Показана высокая соленость этих включений на трех образцах (табл. 1). Среднее значение солености – 23.6 , вариации – 20.7 – 25.8 мас. % экв. NaCl.

В солевом составе включений, судя по температурам эвтектики (начало таяния льда) при выполнении микрокриометрических исследований (-50.8 ... -56.2°C), можно предполагать присутствие $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$, поскольку для этой смеси характерна температура эвтектики -55°C . В то же время для ассоциации $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ температура образования эвтектики составляет -52°C (Борисенко, 1977). Учитывая многокомпонентность рассольной системы флюида и проявление масштабного магнезиального метасоматоза, следует признать, что преобладающим компонентом флюида был хлорид магния. Температуры гомогенизации двухфазных включений укладываются в интервал 184 – 279°C при среднем значении 224°C . Так как мы не вводили поправки к температурам гомогенизации, то получаемые значения принимаются как минимально возможные температуры минералообразования.

Включения в сингенетичном кварце встречаются достаточно редко, представлены преимущественно полостями неправильной формы размером 5.7 – 15.3 мкм. Изучено 13 двухфазных включений (см. рис. 2д, е и табл. 1), имеющих устойчивые температуры гомогенизации (216 – 245°C) и стабильную соленость (24.1 – 24.9 мас. % экв. NaCl). Температуры эвтектики также достаточно стабильные и варьируют от -45.4 до -51.9°C (см. табл. 1), что предполагает присутствие в составе флюида хлоридов магния и кальция. Некоторое повышение температуры эвтектики по сравнению с магнезитом допускает присутствие в составе рассола небольшого количества других хлоридов, вероятнее всего – калия и натрия. Общая соленость флюида в метасоматическом тонкозернистом кварце находится на том же уровне, что и в магнезите. При этом средние температуры гомогенизации включений в кварце (230°C) и магнезите (224°C) очень близки (рис. 3).

Поздний молочно-белый кварц содержит огромное количество очень мелких флюидных включений. При детальном изучении в нем обнаружены включения размером 6.3 – 11.8 мкм, имеющие форму негативного кристалла и более крупные (21.1 – 54.7 мкм) двухфазные включения неправильной формы (см. рис. 2ж, з). Флюидные включения в молочно-белом кварце (всего 9 , см. табл. 1) имеют пониженную относительно магнезита и метасоматического кварца соленость (11.5 – 17.1 , средняя 14.2 мас. % экв. NaCl) и температуру гомогенизации (169 – 245 , средняя 190°C). Температура нача-

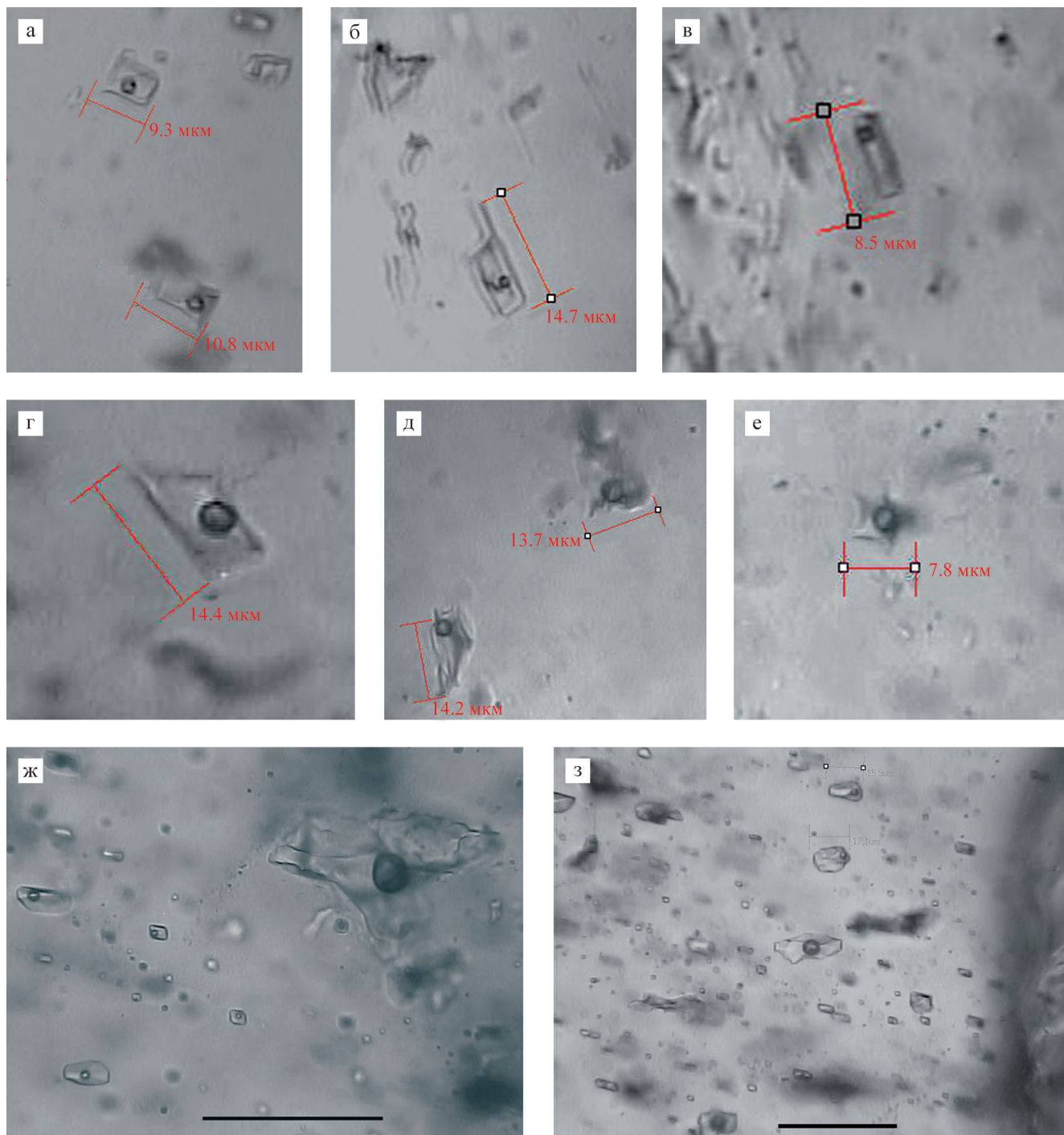


Рис. 2. Типы первичных включений в магнезите (а–г) и метасоматическом кварце (д, е) и вторичных включений в гидротермальном кварце (ж, з; линейка – 50 мкм).

а – с отрицательной формой кристаллов (И13-1-2.1); б – с разной формой (И13-1-5.2); в – с отрицательной формой кристаллов (И13-2-3.2); г – с отрицательной формой кристаллов (И13-3-2.1); д (К11-2-3-3.1), е (К11-2-3-9.2) – включения неправильной формы в кварце (наполненность 10–45%) ж, з – разнотипные включения в молочно-белом кварце.

Fig. 2. Types of primary inclusions in magnesite (a–г) and metasomatic quartz (д, е) and secondary inclusions in hydrothermal quartz (ж, з; line is 0.05 mm).

а – with the negative form of crystals (И13-1-2.1); б – with different forms (И13-1-5.2); в – with the negative form of crystals (И13-2-3.2); г – with a negative form of crystals (И13-3-2.1); д (К11-2-3-3.1), е (К11-2-3-9.2) – inclusions in quartz with irregularly shape (10–45% fullness); ж, з – different types of inclusions in the milky-white quartz.

Таблица 1. Характеристика флюидных включений в магнезитах и кварце Исмакаевского магнезитового месторождения**Table 1.** Description of fluid inclusions in magnesite and quartz of Ismakaevo magnesite deposits

Номер образца	T_h , °C	T_e , °C	T_{mi} , °C	Состав соли	Соленость, мас. % экв. NaCl	Размер, мкм
Магнезит И13-3						
1	214	-51.3 ?	-25.8	CaCl ₂ +NaCl+	25.8	10.1
2	219	-55.6	-23.9	CaCl ₂ +NaCl+	24.1	8.3
3	222	-55.9	-17.6	CaCl ₂ +NaCl+	20.7	13.8
4	236	-56.2	-18.7	CaCl ₂ +NaCl+	21.5	14.4
5	224	-56.1 ?	-18.5	CaCl ₂ +NaCl+	21.3	8.2
Магнезит И13-2						
1	Д-120	-50.8?	-6.8	CaCl ₂ +NaCl+	10.2	7.1
2	229	-53.8	-23.4	CaCl ₂ +NaCl+	24.5	7.7
3	279	-53.2	-23.7	CaCl ₂ +NaCl+	24.7	7.4
4	275					8.2
Магнезит И13-1						
1	221	-54.4	-22.3	CaCl ₂ +NaCl+	23.8	14.7
2	Д-230	-54.8	-23.6	CaCl ₂ +NaCl+	Te	10.4
3	188	-55.2	-22.3	CaCl ₂ +NaCl+	23.8	9.1
4	184	-54.8	-23.2	CaCl ₂ +NaCl+	24.4	4.9
5	243					5.3
6	188					
Кварц льдистый К11-2-3						
1	243	-47.3	-23.9	CaCl ₂	24.9	7.8
2	245	-45.4	-23.9	CaCl ₂	24.9	5.7
3	243	-46.3	-22.7	CaCl ₂	24.1	8.2
4	231	-51.6	-22.3	CaCl ₂ +	23.7	15.3
5	234	-51.9	-22.6	CaCl ₂ +	23.9	14.1
6	238	-45.7	-22.5	CaCl ₂	23.8	8.4
7	239	-48.5	-22.8	CaCl ₂	24.1	9.6
8	234	-48.2	-22.4	CaCl ₂	23.5	8.4
9	226	-46.6	-22.7	CaCl ₂	24.0	13.3
10	192	-48.3	-22.7	CaCl ₂	24.0	14.2
11	220	-50.8	-22.8	CaCl ₂ +	24.1	8.5
12	216	-48.8	-23.1	CaCl ₂	24.4	10.7
13	262	-49.6	-21.8	CaCl ₂	23.6	14.4
Кварц молочно-белый К11-2-4						
1	245	-34.6	-9.6	MgCl ₂ +	13.5	6.3
2	169	-35.2	-13.2	MgCl ₂ +	17.1	54.7
3	186	-33.9	-9.5	MgCl ₂ +	13.4	26.2
4	187	-33.7	-12.5	MgCl ₂ +	16.4	21.1
5	174	-34.8	-12.3	MgCl ₂ +	16.2	8.9
6	174	-35.7	10.2	MgCl ₂ +	12.1	11.8
7	181	-34.8	-10.2	MgCl ₂ +	14.2	10.3
8	199	-32.5	-9.3	MgCl ₂ +	13.2	22.6
9	194	-34.6	-7.8	MgCl ₂ +	11.5	14.3

Примечание. Д-120, Д-230 – декрепитация включения до наступления гомогенизации; T_h – температура полной гомогенизации, T_e – температура эвтектики, T_{mi} – температура конца плавления льда; плюс после формулы означает наличие других солей. Все газовые включения представлены H₂O.

Note. Д-120, Д-230 – inclusion decrepitation before homogenization. T_h – total homogenization temperature; T_e – eutectic temperature; T_{mi} – end temperature of melting ice; plus in the end of the formula represents the presence of the other salts. All gas inclusions are H₂O.

ла плавления льда в позднем кварце относительно повышена и варьирует от -35.7 до -32.5°C. Такие температуры, согласно исследованиям А.С. Борисенко (1977), соответствуют эвтектическим смесям водных растворов хлорида магния и калия (-37.5...33.6°C) или железа (-36.5...35.6°C).

Незначительные различия в температуре гомогенизации двухфазных включений и составе флюида тонкозернистого кварца и магнезита могут объясняться разным временем их образования. Можно предполагать относительно более раннюю кристаллизацию метасоматических магнезитов из пор-

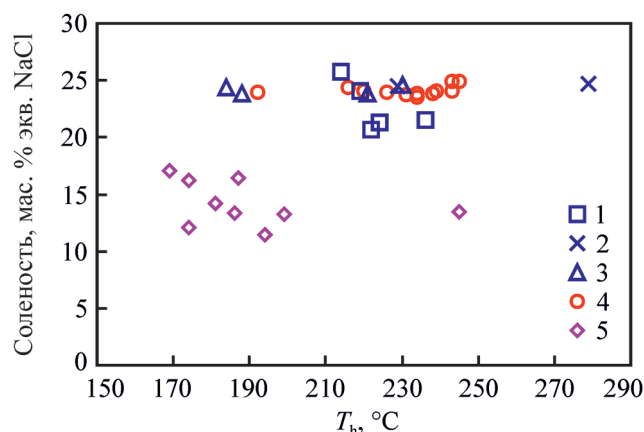


Рис. 3. Температура гомогенизации и соленость в газовой-жидких включениях в магнезитовой залежи Исмакаевского месторождения.

1–3 – образцы магнезита: 1 – И13-1, 2 – И13-2, 3 – И13-3; 4 – метасоматический (льдиный) кварц (K11-2-3); 5 – гидротермальный молочно-белый кварц (K11-2-4)

Fig. 3. The homogenization temperature and salinity in the gas-liquid inclusions from Ismakaevo magnesite deposits.

1–3 – magnesite samples (1 – И13-1, 2 – И13-2, 3 – И13-3); 4 – metasomatic (icy) quartz (K11-2-3); 5 – hydrothermal milky-white quartz (K11-2-4).

ции слабо метаморфизованных рассолов, содержащих еще примесь хлорида натрия и, несомненно, магния. Последний отмечается в малых концентрациях во флюиде включений соответствующих температур эвтектики, поскольку магний в значительной степени был израсходован на образование магнезита. Включения метасоматического кварца формировались при участии более зрелых рассольных флюидов, в составе которых присутствовал хлорид кальция. Такому составу соответствуют рассолы глубокой циркуляции осадочных бассейнов (Крайнов и др., 2004). В еще более поздних растворах, с которыми связано формирование молочно-белого кварца, увеличилось влияние хлоридов железа вследствие метаморфизма погребенных рассолов (контаминация с железосодержащими глинистыми породами рифейского разреза). Кроме того, эти рассолы были разбавлены метеорными или морскими водами и имели относительно низкую температуру. Вероятнее всего, образование молочно-белого кварца по времени формирования оторвано от метасоматической ассоциации магнезита с тонкозернистым кварцем и представляет собой типичный гидротермальный кварц жил выполнения, широко развитый в позднеколлизийных обстановках (Поленов, 2008).

Данные микротермокриометрии подтверждают ранее сделанный на основе изучения хроматографии флюидных включений (Крупенин и др., 2009) вывод о рассольной природе флюидов, оказавших метасоматическое воздействие на вмещающие известняки суранской свиты в районе Исмакаевского магнезитового месторождения, а также уточняют состав и температуры магнезительного метасоматоза, проходившего в интервале температур 220–250°C.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №12-05-00977а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анфимов Л.В. (1997) Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 288 с.
- Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д. (1982) Южноуральская магнезитовая провинция. Свердловск: ИГиГ УНЦ АН СССР, 70 с.
- Борисенко А.С. (1977) Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии. *Геология и геофизика*. (8), С. 16-27.
- Генетические типы, закономерности размещения и прогноз месторождений брусита и магнезита (П.П. Смолин, А.И. Шевелев, Л.П. Урасина и др.). (1984) М.: Наука, 317 с.
- Главнейшие магнезитовые месторождения (Л.П. Урасина, Т.А. Другалева, П.П. Смолин). (1993) М.: Наука, 157 с.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеи В.М. (2004) Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 677 с.
- Крупенин М.Т., Котляров В.А., Гуляева Т.Я., Петрищева В.Г. (2008) Стадийность магнезительного метасоматоза в различных типах магнезитовых месторождений Южно-Уральской провинции (по данным микроанализа) *Литосфера*. (3), 98-120.
- Крупенин М.Т., Прохаска В., Маслов А.В. (2009) Cl-Br-Na систематика флюидных включений в магнезитах Южно-Уральской провинции *Докл. АН*. **426**(3), 351-354.
- Поленов Ю.А. (2008) Эндогенные кварцево-жилные образования Урала. Екатеринбург: УГГУ, 269 с.
- Тимесков В.А. (1983) К научным основам прогноза и поисков магнезитовых месторождений. *Сов. геология*, 73-80.
- Швецов П.Н., Ямаев Ф.А., Астахов А.В. (1986.) Юшинское месторождение магнезитов в рифее Башкирского Урала. *Минералогия, геохимия и генезис полезных ископаемых Южного Урала*. Уфа: БФАН СССР, С. 122–130.
- Шевелев А.И., Зуев Л.В., Федоров В.П. (2003) Минерально-сырьевая база магнезита и брусита России. Казань: ЗАО "Новое знание", 161 с.

Рецензент В.В. Холоднов

**Sources of the fluids for metasomatic magnesite
of Ismakaevo deposit in the South Ural province
(thermokryometry of fluid inclusions)**

M. T. Krupenin, A. A. Garaeva

Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS

Bittern brine nature of fluid inclusions in magnesite of Ismakaevo deposits are confirmed not only by data of Cl-Br ion systematics, but also by methods of microthermometry. The mean value of salinity of inclusions in magnesite is 23.6 wt % NaCl equiv. (variations 20.7–25.8). In the salt composition of the inclusions, according to the eutectic temperature at microkryometry study (–50.8...–56.2°C), dominate magnesium, sodium and calcium chlorides. Homogenization temperature of two-phase inclusions occurs within the interval 184–279°C (average 224°C). High salinity fluid inclusions (24.1–24.9 wt % NaCl equiv.) and stable temperature homogenization (216–245°C) are observed also in metasomatic fine-grained (icy) quartz, syngenetic with magnesite. Giant-grained milky-white later quartz has a lower salinity (11.5–17.1 wt %) and homogenization temperature (169–245°C).

Key words: *magnesite, quartz, brines, microkryometry of fluid inclusions.*