

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ МАГНЕЗИТОВОГО МЕТАСОМАТОЗА ИСМАКАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНО-УРАЛЬСКОЙ ПРОВИНЦИИ (ТЕРМОКРИОМЕТРИЯ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ)

© 2014 г. М. Т. Крупенин, А. А. Гараева

Исмакаевское месторождение кристаллических магнезитов – одно из крупнейших в Южно-Уральской провинции, разведанные запасы составляют около 100 млн т (Фаткуллин и др., 1997 г.). Оно является перспективной базой сырья для получения огнеупорного периклаза для нужд металлургической промышленности Башкортостана. В то же время до сих пор остаются неясными вопросы формирования месторождения в связи с существованием двух генетических подходов к объяснению механизма образования месторождений кристаллического магнезита: осадочного и гидротермально-метасоматического [1, 4, 5, 12 и др.]. Сторонники гидротермально-метасоматического генезиса расходятся во мнениях относительно природы рудного флюида: он рассматривается или как катагенетический из осадочного бассейна [1, 2], или как постмагматический [10, 11]. Наши исследования состава флюидных включений в магнезитах данного месторождения показали, что по отношению молярных концентраций Cl/Br и Na/Br они соответствуют эвапоритовому флюиду, т.е. рассолу с высоким содержанием брома [8]. 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. В таком случае включения в магнезитах и околорудных метасоматитах должны иметь повышенную соленость. В настоящей публикации данное предположение проверялось для Исмакаевского месторождения методом микрокриометрии.

Исмакаевское магнезитовое месторождение приурочено к суранской свите нижнего рифея и расположено в центральной части Ямантауского антиклинория [2, 4, 12]. 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 [4]. 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 содер-

жание кварца в магнезитах, составляющее до 10% [4, 12]. Кварц выделяется в виде гнезд неправильной формы размером до первых дециметров (тонкокристаллический серый) и в виде секущих прожилков (крупнокристаллический молочно-белый). Нашими исследованиями установлено, что магнезиты имеют метасоматические контакты с вмещающими доломитами, пересекающими реликтовую слоистость. В доломитах в экзоконтакте отмечается вкрапленность кристаллов магнезита размером до несколько миллиметров. На расстоянии до 500 м по простиранию доломитов нами обнаружен метасоматический контакт с известняками суранской свиты нижнего рифея [7]. Таким образом, магнезиты представляют собой эпигенетическое образование, развивающееся по вмещающим известнякам с образованием зоны метасоматических доломитов.

Исследования выполнялись на термокриостолитке LinkamTHMSC-600, установленном на микроскопе ZeissAxiolabс дальнефокусными объективами OlympusLMPLFLN50x, LMPLFLN100x. Методика позволяет получить результаты измерения температур фазовых переходов внутри включений в диапазоне температур от –196 до +600°C. Впервые изучены совместно соленость и гомогенизация в каждом двухфазном включении. Материалом послужили двухсторонние полированные пластинки из трех образцов керна крупнокристаллических магнезитов 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, д). Размер гнезд кварца в магнезите достигает 0.5 м. Наблюдаются две генерации кварца: ранний (метасоматический) – тонкозернистый, серый разных оттенков, полупрозрачный, сингенетичный магнезиту (см. рис. 1б–е) – 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–д), текстура пятнистая. Текстура обусловлена развитием в тонкозернистом

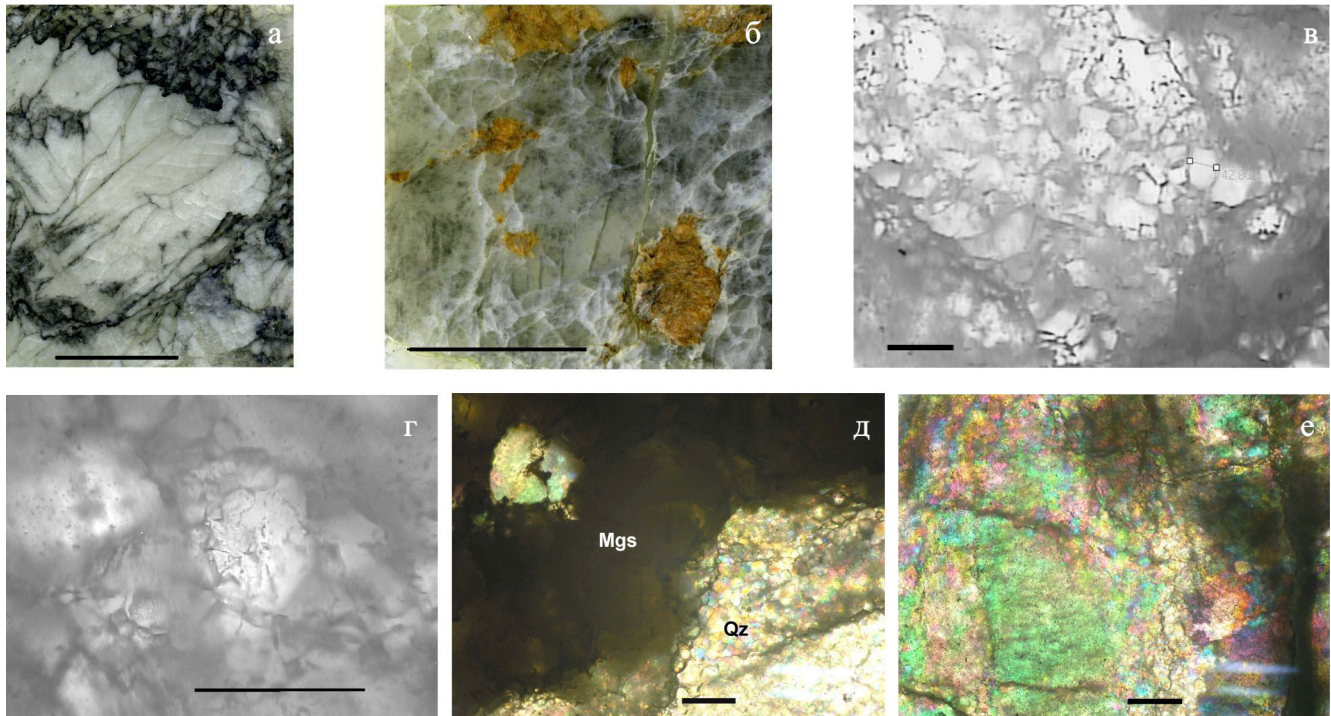


Рис. 1. Метасоматические магнетит и кварц Исмакаевского месторождения.

а – общий вид сканированного шлифа магнетита; б – гнезда обожренного железистого магнетита в метасоматическом льдистом кварце (а, б – полированные двусторонние пластинки, линейка 10 мм); в – мозаичная структура метасоматического кварца; г – изометричные кристаллы кварца (в–г – неполяризованный свет); д – контакт обожренного железистого магнетита (Mgs, видны реликты спайности по ромбоэдру) и метасоматического кварца (Qz); е – перекристаллизация мозаичной структуры метасоматического кварца с образованием крупных кристаллов (д–е – николи скрещены); в–е – линейка 0.1 мм.

кварце участков с блоками крупнокристаллического светло-серого кварца, вероятно развивающегося по тонкозернистому. Размер таких блоков от 0.2–0.5 мм до первых миллиметров, вероятно, они представляют собой результат перекристаллизации (см. рис. 1д–е). Поздний молочно-белый кварц местами подвержен разлистованию (содержит систему субпараллельных трещин, разбивающих его на уплощенные блоки и даже пластины).

Изучение солевого состава и температур образования газовой-жидких включений в магнетитах выполнено из образцов керн разведочного бурения, поскольку магнетит из обнажений и из опытного карьера на Исмакаевском месторождении подвержен поверхностному выветриванию, следовательно, проблематично получить свежий материал для исследования включений. Несмотря на сложность поиска включений в такой древней карбонатной породе, испытавшей неоднократные тектонические подвижки, нарушения по спайности, очень высокое двупреломление в железистом магнетите, удалось изучить состав 15 двухфазных включений, природа которых наиболее соответствует первичным. Размер включений варьировал 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%. Пока-

зана высокая соленость этих включений на трех образцах (табл. 1). Среднее значение солености 23.6, вариации 20.7–25.8 мас. % NaCl экв. В солевом составе включений, судя по температурам эвтектики при выполнении микрокриометрических исследований (–50.8...–56.2°C), можно было бы предполагать присутствие $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$, поскольку для смеси этих солей характерна температура эвтектики –55°C [3]. В составе солей возможно присутствие также и MgCl_2 , поскольку для ассоциации $\text{CaCl}_2 + \text{MgCl}_2$ температура образования эвтектики (начала таяния льда) составляет –52°C [3]. Учитывая многокомпонентность рассольной системы флюида и проявление масштабного магниезильного метасоматоза, следует признать, что преобладающим компонентом флюида был хлорид магния. Температуры гомогенизации двухфазных включений укладываются в интервал температур 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 устойчи-

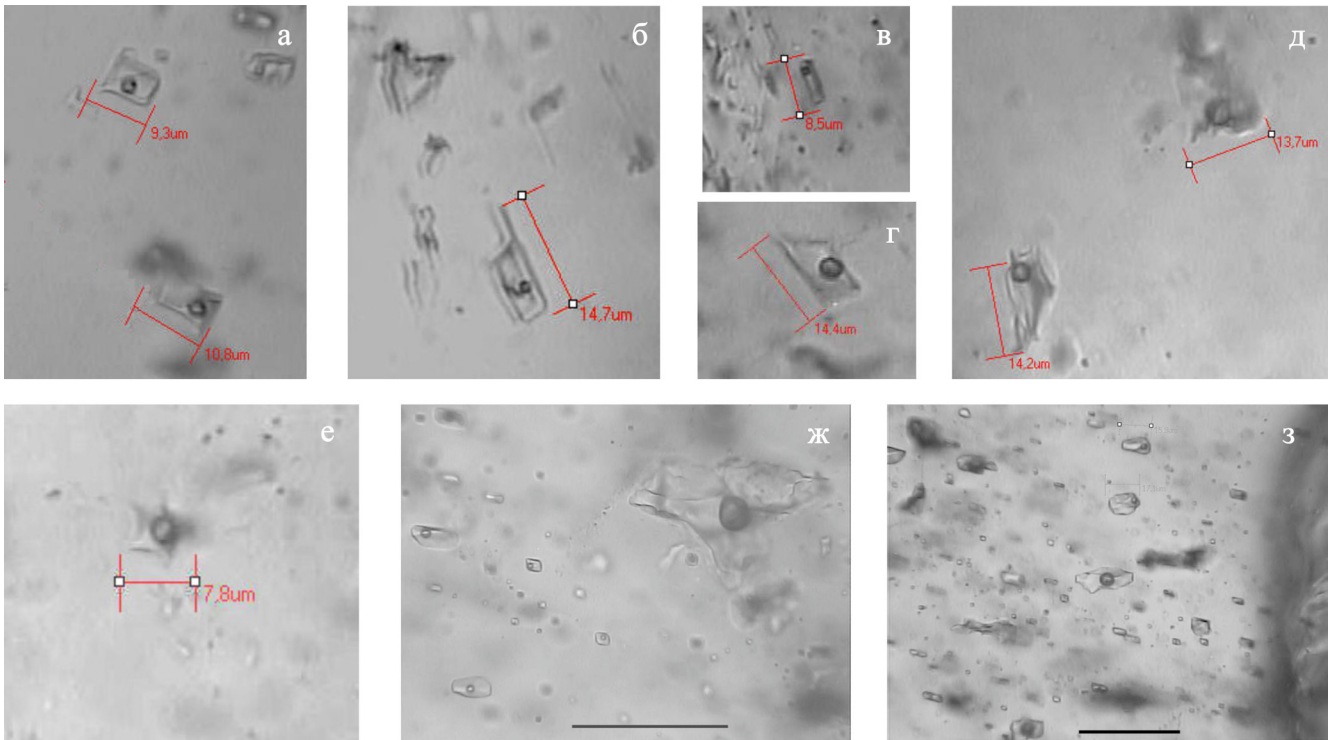


Рис. 2. Типы первичных включений в магнетите (а–г) и метасоматическом кварце (д, е) и вторичных включений в гидротермальном кварце (ж, з; линейка 0.05 мм).

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.

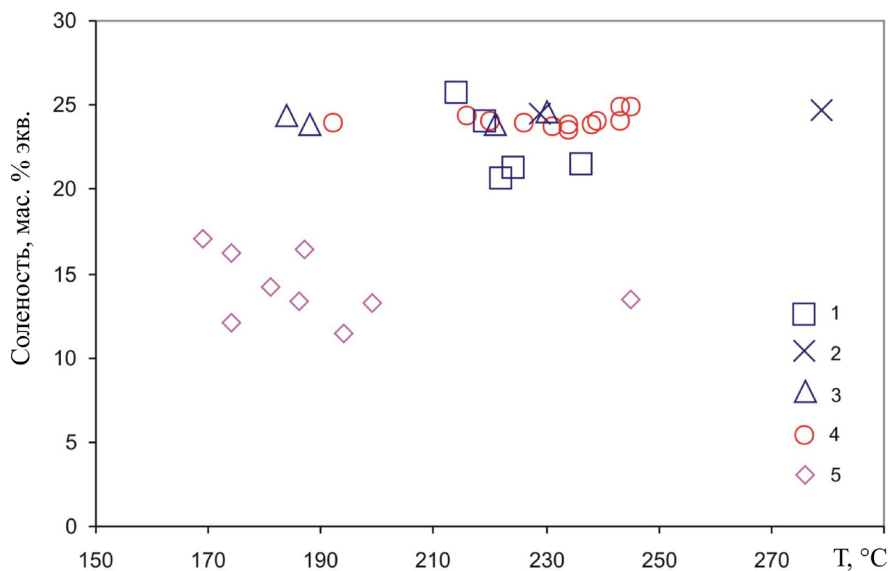


Рис. 3. Температура гомогенизации и соленость в газовой-жидких включениях из трех образцов магнетита (1 – И-13-1; 2 – И-13-2; 3 – И-13-3), метасоматического (льдистого) кварца (4 – К11-2-3) и гидротермального молочно-белого кварца (5 – К11-2-4) в магнетитовой залежи Исмакаевского месторождения.

вые температуру гомогенизации (216–245°C) и соленость (24.1–24.9 мас. % экв. NaCl). Температуры эвтектики также достаточно стабильные и варьиру-

ют от –45.4 до –51.9°C (см. табл. 1), что предполагает присутствие в составе флюида хлоридов магния и кальция (–49°C [3]). Некоторое понижение темпе-

Таблица 1. Состав флюидных включений в магнезитах и кварце Исмакаевского магнезитового месторождения

Номер обр.	T _h , °C	T _e , °C	T _{mi} , °C	Состав соли	Соленость, мас. % экв. NaCl	Газ	Размер, мкм
Магнезит И13-3							
1	214	-51.3 ?	-25.8	CaCl ₂ +NaCl+	25.8	H ₂ O	10.1
2	219	-55.6	-23.9	CaCl ₂ +NaCl+	24.1	H ₂ O	8.3
3	222	-55.9	-17.6	CaCl ₂ +NaCl+	20.7	H ₂ O	13.8
4	236	-56.2	-18.7	CaCl ₂ +NaCl+	21.5	H ₂ O	14.4
5	224	-56.1 ?	-18.5	CaCl ₂ +NaCl+	21.3	H ₂ O	8.2
Магнезит И13-2							
1	Д-120	-50.8?	-6.8	CaCl ₂ +NaCl+	10.2	H ₂ O	7.1
2	229	-53.8	-23.4	CaCl ₂ +NaCl+	24.5	H ₂ O	7.7
3	279	-53.2	-23.7	CaCl ₂ +NaCl+	24.7	H ₂ O	7.4
4	275						8.2
Магнезит И13-1							
1	221	-54.4	-22.3	CaCl ₂ +NaCl+	23.8	H ₂ O	14.7
2	Д-230	-54.8	-23.6	CaCl ₂ +NaCl+	24.6	H ₂ O	10.4
3	188	-55.2	-22.3	CaCl ₂ +NaCl+	23.8	H ₂ O	9.1
4	184	-54.8	-23.2	CaCl ₂ +NaCl+	24.4	H ₂ O	4.9
5	243						5.3
6	188						
Кварц льдистый К11-2-3							
1	243	-47.3	-23.9	CaCl ₂	24.9	H ₂ O	7.8
2	245	-45.4	-23.9	CaCl ₂	24.9	H ₂ O	5.7
3	243	-46.3	-22.7	CaCl ₂	24.1	H ₂ O	8.2
4	231	-51.6	-22.3	CaCl ₂ +	23.7	H ₂ O	15.3
5	234	-51.9	-22.6	CaCl ₂ +	23.9	H ₂ O	14.1
6	238	-45.7	-22.5	CaCl ₂	23.8	H ₂ O	8.4
7	239	-48.5	-22.8	CaCl ₂	24.1	H ₂ O	9.6
8	234	-48.2	-22.4	CaCl ₂	23.5	H ₂ O	8.4
9	226	-46.6	-22.7	CaCl ₂	24.0	H ₂ O	13.3
10	192	-48.3	-22.7	CaCl ₂	24.0	H ₂ O	14.2
11	220	-50.8	-22.8	CaCl ₂ +	24.1	H ₂ O	8.5
12	216	-48.8	-23.1	CaCl ₂	24.4	H ₂ O	10.7
13	262	-49.6	-21.8	CaCl ₂	23.6	H ₂ O	14.4
Кварц молочно-белый К11-2-4							
1	245	-34.6	-9.6	MgCl ₂ +	13.5	H ₂ O	6.3
2	169	-35.2	-13.2	MgCl ₂ +	17.1	H ₂ O	54.7
3	186	-33.9	-9.5	MgCl ₂ +	13.4	H ₂ O	26.2
4	187	-33.7	-12.5	MgCl ₂ +	16.4	H ₂ O	21.1
5	174	-34.8	-12.3	MgCl ₂ +	16.2	H ₂ O	8.9
6	174	-35.7	10.2	MgCl ₂ +	12.1	H ₂ O	11.8
7	181	-34.8	-10.2	MgCl ₂ +	14.2	H ₂ O	10.3
8	199	-32.5	-9.3	MgCl ₂ +	13.2	H ₂ O	22.6
9	194	-34.6	-7.8	MgCl ₂ +	11.5	H ₂ O	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; “+” – присутствие других хлоридов.

ратуры эвтектики допускает присутствие в составе рассола небольшого количества других хлоридов, вероятнее всего – магния, а также калия и натрия. Состав флюида в метасоматическом тонкозернистом кварце несколько отличается от такового в магнезите почти полным отсутствием примеси NaCl, однако общая соленость находится на том же уровне. При этом средняя температура гомогенизации включений в кварце (230°C) почти как в магнезите (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 (рис. 2ж, з). Флюидные включения в молочно-белом кварце (всего 9, см. табл. 1) имеют пониженные относительно магнезита и метасоматического кварца соленость (11.5–17.1, среднее

14.2 мас. % экв. NaCl) и температуру гомогенизации (169–245°C, среднее 190°C). Температура начала плавления льда в позднем кварце относительно повышена и варьирует от –35.7 до –32.5°C. Такие температуры, согласно исследованиям А.С. Борисенко [3], 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 магнетита могут объясняться разным временем их образования. В последнем случае можно предполагать относительно более раннюю кристаллизацию метасоматического кварца при участии зрелых рассольных флюидов, в составе которых присутствовал хлорид кальция. Такому составу соответствуют рассолы глубокой циркуляции осадочных бассейнов [6]. Магнетиты формировались из другой порции рассолов, менее метаморфизованных, содержащих еще примесь хлорида натрия, и, несомненно, магния. Последний отмечается во флюиде включений соответствующими температурами эвтектики в малых концентрациях, поскольку магний в значительной степени был израсходован при магнезиальном метасоматозе на образование магнетита. В 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 заметно разбавлены, скорее всего, метеорными водами и имели относительно низкую температуру. Вероятнее всего, образование молочно-белого кварца оторвано по времени формирования от метасоматической ассоциации магнетита с тонкозернистым кварцем, он представляет собой типичный гидротермальный кварц жил выполнения, широко развитый в позднеколлизионных обстановках [9].

Данные микротермокриометрии подтверждают ранее сделанный на основе изучения хроматографии флюидных включений [7] вывод о рассольной природе флюидов, оказавших метасоматическое воздействие на вмещающие известняки суранской свиты в районе Исмакаевского магнезитового месторождения, уточняют состав и температуры маг-

незиального метасоматоза, проходившего в интервале 220–250°C.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН. 1997. 288 с.
2. Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д. Южноуральская магнезитовая провинция. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1982. 70 с.
3. Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.
4. Генетические типы, закономерности размещения и прогноз месторождений брусита и магнетита / П.П. Смолин, А.И. Шевелев, Л.П. Урасина и др. М.: Наука, 1984. 317 с.
5. Главнейшие магнезитовые месторождения / Л.П. Урасина, Т.А. Другалева, П.П. Смолин. М.: Наука, 1993. 157 с.
6. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
7. Крупенин М.Т., Котляров В.А., Гуляева Т.Я., Петрищева В.Г. Стадийность магнезиального метасоматоза в различных типах магнезитовых месторождений Южно-Уральской провинции (по данным микроанализа) // Литосфера. 2008. № 3. С. 98–120.
8. Крупенин М.Т., Прохаска В., Маслов А.В. Cl-Br-Na систематика флюидных включений в магнетитах Южно-Уральской провинции // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 3. С. 351–354.
9. Поленов Ю.А. Эндеогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: УГГУ, 2008. 269 с.
10. Тимесков В.А. К научным основам прогноза и поисков магнезитовых месторождений // Сов. геология. 1983. № 3. С. 73–80.
11. Швецов П.Н., Ямаев Ф.А., Астахов А.В. Юшинское месторождение магнетитов в рифее Башкирского Урала // Минералогия, геохимия и генезис полезных ископаемых Южного Урала. Уфа: БФАН СССР, 1986. С. 122–130.
12. Шевелев А.И., Зуев Л.В., Федоров В.П. Минерально-сырьевая база магнетита и брусита России. Казань: Новое знание, 2003. 161 с.