

25–100 км². При ГХР-200 опробуются донные осадки устьевых частей водотоков I порядка и рыхлых отложений крупных эрозионных ложбин с бассейнами водосбора (сноса рыхлого материала) 2–8 км²; на геохимически не охарактеризованных участках дополнительно отбираются сводные пробы из рыхлых отложений пространственно сближенных мелких эрозионных ложбин и нижних частей протяженных ровных склонов.

Резюмируя вышеизложенное отметим, что внедрение в практику ГХР-200 и ГХР-1000 предлагаемой технологии региональных геохимических работ приведет к уменьшению плотности опробования в 5–10 раз с соответствующим сокращением объемов опробования, что позволит с минимальными финансовыми потерями перейти от полуколичественных к количественным методам анализа и, как следствие, повысить надежность прогноза рудогенных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях* / Под ред. А.Ф. Морозова, Б.К. Михайлова, Т.В. Чепкасовой, О.В. Петрова, А.А. Кременецкого, С.М. Алексеева / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко, О.Н. Симонов и др. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. — 98 с.
2. *Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений*. — М.: Недра, 1983. — 191 с.
3. *Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния*. — М.: ИМГРЭ, 1992. — 164 с.
4. *Патент РФ № 2330259 от 07.08.2006. Геохимический способ поисков месторождений полезных ископаемых* / О.В. Петров, С.С. Шевченко, С.В. Соколов и др.
5. *Соколов, С.В. Задачи повышения эффективности геохимических работ поисковой геохимии*. Сб. ст. Прикладная геохимия. — Вып. 8 (в 2-х томах). Проблемы поисковой геохимии. — Т. 2. Опыт геохимических поисков / С.В. Соколов, С.С. Шевченко. — М.: ИМГРЭ, 2008. — С. 3–15.
6. *Соколов, С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогнозу оруденения* / С.В. Соколов. — СПб: Наука, 1998. — 154 с.
7. *Соколов, С.В. Метод анализа сверхтонкой фракции: результаты, эффективность* / С.В. Соколов, Ю.В. Макарова, Ю.Ю. Юрченко // *Разведка и охрана недр*. — 2013. — № 8. — С. 54–58.
8. *Соколов, С.В. Геохимические поиски месторождений в областях развития площадных кор выветривания и озерно-аллювиальных отложений повышенной мощности (на примере Пионер-Покровского рудного района)* / С.В. Соколов, Н.Г. Власов, Л.П. Курник, Ю.Ю. Юрченко // *Разведка и охрана недр*. — 2016. — № 1. — С. 15–22.
9. *Соколов, С.В. Состояние, проблемы и совершенствование нормативно-методического обеспечения разномасштабных геохимических работ* / С.В. Соколов, С.С. Шевченко, И.И. Никитченко // *Разведка и охрана недр*. — 2019. — № 1. — С. 15–22.
10. *Соколов, С.В. Оптимизация сети и плотности опробования при проведении площадных геохимических работ как фактор повышения надежности прогноза* / С.В. Соколов, А.Г. Марченко // *Разведка и охрана недр*. — 2019. — № 8. — С. 19–28.
11. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых* / А.П. Соловов, Ф.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
12. *Хорин, Г.И. Карты геохимических аномалий и полей и геохимическая основа карт прогноза по данным региональных литохимических съемок по потокам рассеяния* / Г.И. Хорин, И.Ф. Бровчук, В.П. Бородин // *Принципы и методы составления геохимических карт*. — Владивосток, 1981.

© Коллектив авторов, 2019

Соколов Сергей Валерьевич // Sergey_Sokolov@vsegei.ru
 Марченко Алексей Григорьевич // a-marchenko@yandex.ru
 Петров Олег Владимирович // OPetrov@vsegei.ru
 Шевченко Сергей Семенович // Sergey_Shevchenko@vsegei.ru
 Макарова Юлия Викторовна // Yuliya_Makarova@vsegei.ru

Галияхметова Л.Х. (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»),
 Николаев А.Г., Низамова А.В. (Казанский
 (Приволжский) федеральный университет)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЖИЛЬНОГО КВАРЦА МАЛО-ЧИПИКЕТСКОЙ ЗОНЫ ПАТОМСКОГО КВАРЦЕНОСНОГО РАЙОНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

*Проведено исследование флюидных включений жильного кварца Мало-Чипикетской зоны Патомского кварценосного района термобарогеохимическими методами. Установлено, что в минералообразовании участвовали флюиды водно-углекислотного состава с примесями азота и метана. В солевом составе растворов первичных включений присутствуют хлориды лития, натрия и калия, вторичных — хлорид калия. Результаты исследований свидетельствуют об эпигенетичной кварцево-жильной минерализации, формирование которой связано с деятельностью глубинных флюидных систем и выделением кремнезема при метаморфизме терригенно-осадочных пород. **Ключевые слова:** кварцево-жильная минерализация, флюидные включения, гомогенизация, криометрия, рамановская спектроскопия.*

Galiakhmetova L.Kh. (TSNIIgeolnerud), Nikolaev A.G.,
 Nizamova A.V. (Kazan Federal University)

CONDITIONS OF FORMATION OF THE VEIN QUARTZ OF THE MALO-CHIPIKETSKY ZONE OF THE PATOM QUARTZ AREA ON THE RESULTS OF RESEARCHES OF FLUID INCLUSIONS

*The fluid inclusions of vein quartz of the Malo-Chipiketsky zone of the Patom quartz area were studied using thermobarogeochemical methods. It was established that fluids of water-carbon dioxide composition with impurities of nitrogen and methane participated in the mineral formation. The composition of the inclusion solutions was studied by the thermocryometric method. The salt composition of the solutions of primary inclusions contains lithium, sodium and potassium chlorides, and the secondary ones — potassium chloride. The research results indicate epigenetic quartz-vein mineralization, the formation of which is associated with the activity of deep fluid systems and the release of silica during the metamorphism of terrigenous-sedimentary rocks. **Keywords:** quartz-vein mineralization, fluid inclusions, homogenization, cryometry, Raman spectroscopy.*

Объект исследований

Патомский кварценосный район охватывает значительную часть Прибайкальской кварценосной провинции, с которой связаны основные перспективы Сибири на кварцевое сырье (Е.М. Аксенов и др., 2015). Патомский район характеризуется высокой концентрацией проявлений кварцево-жильной минерализации, связанной с метаморфогенно-гидротермальной формацией, сформированной в палеозойское время. Кварцевые

жилы локализуются преимущественно в южной части района, в пределах Мало-Чипикетской кварценозной зоны, ограниченной с севера Верхне-Хайвергинским разломом, с юга — Верхне-Патомской системой надвигов (Н.Г. Быдтаева и др., 2018).

В пределах Мало-Чипикетской минерагенической зоны жильовмещающими являются образования, относимые к хайвергинской и бугарихтинской свитам балаганаской подсерии среднего рифея, преобладающими породами которых являются кварциты, гнейсы и кристаллические сланцы, подчиненное распространение имеют амфиболиты, амфиболовые сланцы и филлониты. Петрографо-петрохимическое изучение пород показало, что исходные терригенно-осадочные породы преобразованы в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации. Практически все изученные породы несут следы динамометаморфических преобразований: имеют полосчато-линзовидный и пятнистый облик, микропорфирокластические обособления, повышенное содержание углеродистого вещества.

На площади выявлено месторождение Мало-Чипикетское, представленное жилой 2821, и многочисленные проявления безрудного кварца, требующие оценки. Кварцевое сырье жилы 2821 характеризуется повышенной химической чистотой. Коэффициент светопропускания кварца высокий, колеблется в интервале 72–81 %. По содержанию «высокотемпературной» воды (22–23 мкг/г) кварцевый концентрат жилы 2821 соответствует сорту КГО-3 и выше (ТУ 5726-002-11496665-97). По результатам технологических испытаний гранулированный кварц жилы 2821 пригоден для использования в производстве прозрачного кварцевого стекла для изделий электронной промышленности.

Кварцевые жилы, выявленные в пределах Мало-Чипикетской зоны, преимущественно линзовидно-, клиновидные с частыми раздувами и пережимами, образующими будинообразные формы. Жилы несколько отличаются по масштабам, наиболее крупные из них при средней мощности 3–3,5 м имеют протяженность 120–130 м. Мощность мелких жил в раздувах 2–3 м, редко до 5 м, обычная длина по простиранию 10–15 м. Жильные зоны представлены сближенными кварцевыми телами. Контакты с вмещающими породами согласные, преимущественно пологие с падением в северных румбах. Жилы сложены тремя основными типами кварца: неравномернозернистым динамометаморфизованным, средне-мелкозернистым гранулированным и гигантозернистым первично кристаллическим кварцем (Л.Х. Галиахметова и др., 2019). Жилы гранулированного кварца приурочены преимущественно к кварцито-гнейсовому комплексу бугарихтинской свиты и сложены белым, светло-серым кварцем с прозрачными и полупрозрачными зернами близкой к изометричной формы размером 1–5 мм. Жилы неравномернозернистого динамометаморфизованного кварца развиты в основном в гнейсо-углеродисто-сланцевом комплексе хайвергинской

свиты и сложены светло-серым кварцем с прозрачными и полупрозрачными зернами неправильной формы размером от 1–10 мм до 2–3 см. Жилы гигантозернистого первично кристаллического кварца встречаются в обоих стратиграфических подразделениях рифея и сложены сливным кварцем с неясными очертаниями индивидов и неоднородными по прозрачности зернами.

Основной задачей данной работы являлось определение условий формирования жильного кварца Мало-Чипикетской кварценозной зоны, химического состава минералообразующих растворов, выяснение источников флюидов и выявление возможных отличий термобарогеохимических параметров выделенных типов кварца.

Методы исследований

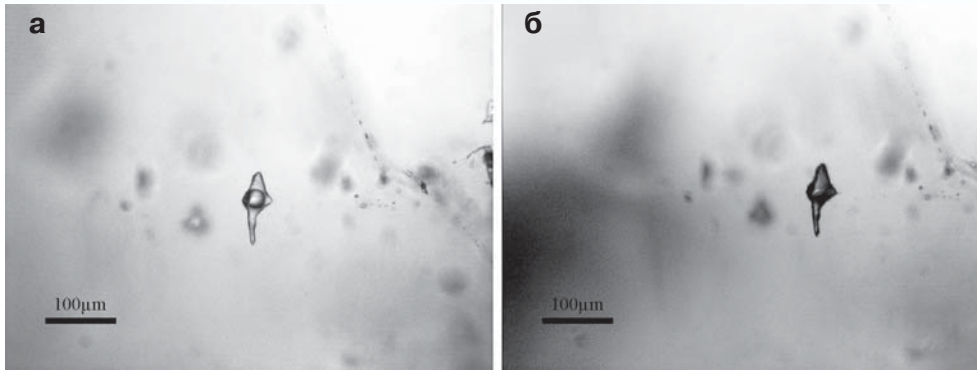
Изучение флюидных включений проводилось методами гомогенизации и криометрии с использованием термостоллика THMS600 фирмы Linkam, позволяющего проводить измерения температуры фазовых переходов внутри флюидных включений при температурах от –196 °С до 600 °С. Состав газовой фазы включений оценивался методом спектроскопии комбинационного рассеяния на конфокальном рамановском микроспектрометре inVia Qontor. Спектры снимались при комнатной температуре в диапазоне волн 100–4500 см⁻¹. Контроль режимов и обработка данных производилась в программе Wire 5. В работе был использован лазер с длиной волны 532 нм (мощность лазера 500 мВт). Препаратом для изучения служили двухсторонние полированные пластинки кварца толщиной 0,3–0,5 мм. Всего проанализировано 19 полированных пластинок, изготовленных из образцов кварца, наиболее полно характеризующих структурно-текстурные особенности выделенных типов.

Результаты исследований

Все изученные включения представляют собой двухфазовые вакуоли, содержащие водный раствор и газовую фазу (жидкость+газ). Следует отметить, что для кварца изучаемой площади наиболее характерно содержание двух- (жидкость+газ) и однофазовых (жидкость/газ) включений. Трехфазовые включения (жидкость+газ+твердая фаза) крайне редкие, при оптическом-микроскопическом изучении более 500 шлифов кварца были обнаружены всего несколько включений данного типа.

Включения преимущественно неправильной, вытянутой формы (рисунок, а). Размеры включений варьируют от 8–10 до 60–80 мкм, преобладают включения размером 25–30 мкм. Газовая фаза включений занимает от 10 до 30 % объема вакуоли.

В процессе определения температуры гомогенизации включений возникли определенные сложности — при нагревании увеличивался газовый пузырек, и в результате превышения внутреннего давления над прочностью стенок вакуоли включение лопалось и становилось темным с черной каемкой (рисунок, б), т.е. включения декрепитируют, не достигая гомогенизации.



Флюидное включение вытянутой формы с газовым пузырьком при температуре нагрева 25 °С (а) и 196 °С (б). Обр. 304-1, жила 2821

Только в двух образцах удалось зафиксировать температуру гомогенизации вещества, которое при понижении температуры вернулось в исходное гетерогенное состояние. Результаты исследований методом гомогенизации отражены в табл. 1.

Большинство исследованных включений (63 %) декрепитируют в температурном интервале 200–300 °С. Максимальная температура декрепитации зафиксирована в обр. 217 и составила 339 °С. Учитывая тот факт, что включение декрепитировало до наступления гомогенизации становится очевидным, что температура гомогенизации превышает 339 °С.

Газовый состав включений изучался методом рамановской спектроскопии. По ее данным в составе газовой фазы включений преобладает CO₂ и N₂, присутствует O₂, в единичных включениях отмечается присутствие метана (табл. 2) (Burke, 2001).

Как известно, при повышении температуры от 50 до 350 °С наблюдается быстрый рост средних содержаний CO₂ в гидротермальных флюидах, который достигает своего максимума в районе 350 °С (Г.Б. Наумов и др., 2011). Кроме того, освобождение углекислоты может быть связано с преобразованием осадочных пород в процессах регионального метаморфизма. При этом в кварцах метаморфических пород консервируются включения, где давление CO₂ достигает высоких значений. Можно полагать, что высокое внутреннее давление флюидных включений, приводящее к их декрепитации до стадии гомогенизации, отчасти связано с высоким давлением CO₂ во включениях. Кроме

того, повышению давления во включениях способствовали вторичные динамометаморфические процессы, которые воздействовали на данный кварц уже после полного окончания этапа минералообразования.

Углеродистое вещество, широко распространенное на изучаемой площади в составе углисто-серицит-кварцевых сланцев и филлитов, в процессе метаморфизма способствовало обо-

гащению флюидов метаном и азотом.

Состав растворов включений изучался термодинамическим методом. По данным термодинамики температура эвтектики в первичных включениях изменяется от –82 °С до –92 °С, что свидетельствует о сложном солевом составе растворов. Вероятно, в составе флюида присутствуют хлориды лития, калия и натрия (А.Н. Киргинцев и др., 1972; А.С. Борисенко, 1977). Во вторичных включениях температура эвтектики жидкой фазы составляет –10 – (–11) °С, что свидетельствует о присутствии хлоридов калия в составе растворов (А.С. Борисенко, 1977). По температуре плавления льда установлено, что концентрация KCl в растворе изменяется от 4 до 8 масс. % (Э. Реддер, 1987; Ф.П. Мельников и др., 2008).

Таблица 1
Результаты определения температуры гомогенизации флюидных включений в кварце Мало-Чипикетской зоны

№ п/п	Номер пробы	Интервал декрепитации (+, °С)	Температура гомогенизации (+, °С)	Краткое описание образца
1	304-1	179–255	—	средне-мелкозернистый гранулированный кварц
2	304-3	221–325	—	
3	304-5	184–246	—	
4	520	—	212	
5	164	198–265	—	
6	522	199–207	—	
7	354	250–325	—	
8	217	226–339	—	
9	1714	248–330	—	
10	1452	169–273	—	
11	351	256–308	—	
12	349	156–309	—	
13	960-1	—	219–248	неравномерно-зернистый метаморфизованный кварц
14	201	201–310	—	
15	124	207–315	—	
16	1458-3	228–324	—	
17	056	197–335	—	
18	251	173–276	—	

Таблица 2
Состав газовой фазы двухфазовых флюидных включений

№ п/п	Номер пробы	Тип включений	Состав газовой фазы
1	056	вторичное	N ₂ (77%) + O ₂ (23%)
2		вторичное	N ₂ (82%) + O ₂ (18%)
3		первичное	CO ₂ (87%) + N ₂ (13%)
4	124	вторичное	CO ₂ (92%) + N ₂ (8%)
5		первичное	CO ₂ (56,6%) + N ₂ (33,7%) + O ₂ (9,7%)
6	153		N ₂ (84%) + O ₂ (16%)
7	164	вторичное	CO ₂ (91%) + N ₂ (6%) + O ₂ (3%)
8		первичное	CO ₂ (60%) + N ₂ (40%)
9	201	вторичное	N ₂ (51%) + CO ₂ (49%)
10	217	первичное	CO ₂ (49%) + O ₂ (36%) + N ₂ (15%)
11	251	первичное	N ₂ (100%)
12	304-1	первичное	CO ₂ (87%) + N ₂ (13%)
13	304-3	первичное	CO ₂ (91%) + N ₂ (9%)
14	304-5	вторичное	N ₂ (100%)
15		первичное	N ₂ (100%)
16	349	вторичное	CO ₂ (88%) + N ₂ (12%)
17		вторичное	CO ₂ (86%) + N ₂ (14%)
18	351	первичное	N ₂ (50%) + CO ₂ (40%) + O ₂ (10%)
19		вторичное	N ₂ (100%)
20	354	вторичное	N ₂ (67%) + O ₂ (18%) + CO ₂ (15%)
21	520	вторичное	N ₂ (73%) + O ₂ (27%)
22			N ₂ (100%)
23	522	вторичное	N ₂ (78%) + O ₂ (22%)
24			CO ₂ (90%) + N ₂ (10%)
25	960-1	первичное	CO ₂ (93%) + N ₂ (7%)
26			CO ₂ (91%) + N ₂ (9%) + CH ₄ (1%)
27	1452		CO ₂ (73%) + N ₂ (27%)
28	1458-3		N ₂ (100%)
29	1714	вторичное	CO ₂ (62%) + N ₂ (33%) + O ₂ (5%)

Существенных различий в температурах гомогенизации и декрепитации и в составе флюидных включений различных типов кварца не отмечается.

Обсуждение результатов и выводы

Данные, полученные нами при изучении флюидных включений в жильном кварце Мало-Чипикетской кварценозной зоны, свидетельствуют о том, что в минералообразовании участвовали флюиды водно-углекислотного состава с примесями азота и метана. В составе растворов первичных включений по эвтектической температуре определены хлориды Li, Na и K, во вторичных включениях — KCl. Присутствие лития в составе растворов первичных включений может указывать на участие в формировании кварца магматогенных растворов. Калий, присутствующий в составе растворов вторичных включений, вероятно, заимствован из рудовмещающего комплекса, содержание которого несколько повышено в этих породах.

Таким образом, результаты изучения флюидных включений в жильном кварце Мало-Чипикетской зоны

указывают на эпигенетичную кварцево-жильную минерализацию, формирование которой связано с деятельностью глубинных флюидных систем и освобождением кремнезема при метаморфизме терригенно-осадочных пород. Схожие термобарогеохимические параметры и близкий состав флюидных включений различных структурных типов кварца указывают на единую минералообразующую систему. Предполагается, что структурно-текстурные особенности выделенных типов кварца связаны с динамометаморфическими процессами, которые воздействовали на данный кварц уже после полного окончания этапа минералообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов, Е.М. Перспективы использования кварцевого сырья России в высоких технологиях / Е.М. Аксенов, Н.Г. Быдтаева, Ю.И. Бурьян, Ю.Г. Колмогоров, А.Е. Непряхин, И.Н. Нигматов // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 9. — С. 57–66.
2. Борисенко, А.С. Изучение солевого состава растворов газожидких включений в минералах методом криометрии / А.С. Борисенко // Геология и геофизика. — 1977. — № 8. — С. 16–27.
3. Быдтаева, Н.Г. Структурно-вещественный комплекс Мало-Чипикетской кварценозной зоны Патомского кварценозного района / Н.Г. Быдтаева, Л.Х. Галияхметова, Р.А. Киселева, А.Е. Непряхин // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 12. — С. 15–23.
4. Галияхметова, Л.Х. Типоморфные признаки жильного кварца и их значение для прогнозирования качества кварцевых продуктов (на примере Мало-Чипикетской зоны Патомского кварценозного района, Иркутская область) / Л.Х. Галияхметова, Н.Г. Быдтаева // Отечественная геология. — 2019. — № 1. — С. 50–58. doi: 10.24411/0869-7175-2019-10006.
5. Киргинцев, А.Н. Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник / А.Н. Киргинцев, Л.Н. Трушников, В.Г. Лаврентьева. — Л.: Изд-во Химия, 1972. — 248 с.
6. Мельников, Ф.П. Термобарогеохимия / Ф.П. Мельников., В.Ю. Прокофьев, Н.Н. Шатагин. — М.: Академический проект, 2008. — 222 с.
7. Наумов, Г.Б. Формирование гидротермальных рудообразующих растворов в океанах и континентах / Г.Б. Наумов, Т.К. Беркелиев, О.Ф. Миронова // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. — 2011. — № 3. — С. 28–44.
8. Реддер, Э. Флюидные включения в минералах / Э. Реддер. — М.: Мир, 1987. — Т. 1. — 360 с. — Т. 2. — 632 с.
9. References
10. Burke, E.A.J. Raman microspectrometry of fluid inclusions. *Lithos.* — 2001. Vol. 55, Issues 1–4. P. 139–158.

© Галияхметова Л.Х., Николаев А.Г., Низамова А.В., 2019

Галияхметова Лилия Хуснулловна // gal-lilia@mail.ru
Николаев Анатолий Германович // anatolij-nikolaev@yandex.ru
Низамова Айгуль Васильевна // aigul96@mail.ru