

**ПРИКЛАДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ**DOI <https://doi.org/10.30695/zrmo/2019.1483.07>

© М. Г. ВОЛКОВА,\*\*\* А. И. НЕПОМНЯЩИХ,\*\*\*\* А. М. ФЕДОРОВ,\*\*\*\*

**ФЛЮИДНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В «СЛИВНОМ» КВАРЦЕ  
ОКА-УРИКСКОГО БЛОКА (ВОСТОЧНЫЙ САЯН)**

\* *Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а;  
e-mail: mariavolkova2008@yandex.ru*

\*\* *Иркутский научный центр СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134*

\*\*\* *Иркутский государственный университет,  
664003, Иркутск, ул. К. Маркса, 1*

«Сливной» кварц Ока-Урикского блока в образце непрозрачный, серо-белого цвета, но просвечивает в тонких сколах и имеет вид замутненного монокристалла кварца. Он характеризуется высокой флюидонасыщенностью и отличается от других кварцитов блока тем, что флюидные включения здесь находятся внутри зерна, а не в межзерновом пространстве. Химическое обогащение кварцевых концентратов показало, что основная часть высокотемпературной воды, углекислоты и натрия находится во флюидных включениях. Прокалка кварцевой крупки в вакууме при температуре 1450 °С в течение трех часов привела к уменьшению концентрации натрия.

*Ключевые слова:* флюидные включения, «сливной» кварц, микротермометрия, летучие компоненты, натрий, сверхчистые кварцевые концентраты, химическое обогащение, прокалка.

*M. G. VOLKOVA,\*\*\* A. I. NEPOMNYASHCHIKH,\*\*\*\* A. M. FEDOROV,\*\*\*\**  
THE FLUID INCLUSIONS IN «COMPACT» QUARTZ FROM THE OKA-URIK BLOCK  
(EASTERN SAYAN)

*Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia  
Irkutsk Scientific Center SB RAS, Irkutsk, Russia  
Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

«Compact» quartz of the Oka-Urik block is a new source of ultra-pure quartz raw materials. Large bodies of «compact» quartz are located in the south-western part of the block. The samples are opaque, gray-white, but translucent in thin chips and have the form of a clouded single crystal of quartz. Quartz grains are slightly elongated in one direction. There are two generations of quartz grains. There are single needles and scales of sericite. A distinctive feature of the «compact» quartz from other quartzites of the Oka-Urik block is that fluid inclusions were widely distributed here inside the quartz grains, and only rarely within intergranular spaces. Size of fluid inclusions is to 40 microns. Three types of fluid inclusions by composition were found in the sample of «compact» quartz: water-salt, water and carbon-containing-water. The concentration of salts in fluid inclusions of water-salt composition corresponds to 7—9 wt % NaCl equiv. Chemical enrichment of quartz concentrates showed that the main part of high-temperature water, carbon dioxide and sodium is in fluid inclusions. Based on the data obtained, an enrichment scheme was proposed. Calcination of quartz grits in vacuum at a temperature of 1450 °C for three hours led to a decrease in sodium concentration, as there is an opening of the fluid inclusions inside the grain.

*Keywords:* fluid inclusions, «compact» quart, microthermometry, volatile component, sodium, high-purity quartz concentrate, chemical enrichment, calcination.

Наиболее изученным в пределах Гарганского кварценосного района является Ока-Урицкий блок, который включает в себя месторождение Бурал-Сардык. Геология и модели образования кварцитов Ока-Урицкого блока детально изложены в работах (Воробьев и др., 2003; Федоров и др., 2012; Макрыгина, Федоров, 2013; Анфилогов и др., 2015). Для уточнения моделей и разработки процессов получения особо чистых кварцевых концентратов необходимо изучить состав и характер распределения флюидных включений (ФВ) в кварце.

«Сливной» кварц, отобранный в юго-западной части Ока-Урицкого блока, рассматривается в работе как новый источник сверхчистого кварцевого сырья. На основе такого сырья можно производить оптическое кварцевое стекло для видимой и ближней инфракрасных областей спектра, а также термостойкую кварцевую керамику самого широкого применения (Непомнящих и др., 2018). Таким образом, исследование ФВ в кварцитах является не только актуальной задачей, но и необходимым условием для установления возможностей их практического использования и последующей разработки конечной схемы получения из них кварцевых концентратов.

## ГЕОЛОГИЯ ОКА-УРИЦКОГО БЛОКА

Кварциты Ока-Урицкого блока слагают четыре изолированных друг от друга горных массива северо-восточного простирания, занимающих, в общей сложности, площадь около 30 км<sup>2</sup>. В центральной части самого крупного из них расположено месторождение Бурал-Сардык (Воробьев и др., 2003; Федоров и др., 2012; Макрыгина, Федоров, 2013; Анфилогов и др., 2015; Fedorov et al., 2018).

Кварциты Ока-Урицкого блока представляют собой пачку существенно кремнистых пород в средней части кремнисто-карбонатной иркутской свиты неопротерозойского возраста. Иркутская свита вместе с перекрывающей ее уртагольской представляют собой осадочно-метаморфогенный чехол Гарганской глыбы архейского возраста. Фундамент и чехол Гарганской глыбы прорывается крупными массивами гранитоидов Сумсунурского комплекса тоналит-трондьемит-гранодиоритового типа, возрастом 790 млн лет (Кузьмичев, 2004).

«Сливной» кварц впервые был обнаружен нами на северо-западном участке Ока-Урицкого блока, но имеет здесь весьма ограниченное распространение. Элювиально-делювиальные развалы «сливного» кварца распространены на северо-западных склонах в привершинной части хребта.

## МЕТОДЫ И АППАРАТУРА

Исследования ФВ проводились в двухсторонне полированных прозрачных пластинах как в проходящем, так и в отраженном свете с помощью микроскопа Olympus BX 51. Для фотографирования препаратов использовались фотокамеры PixeLink 1394 и QImagingMicroPublisher 5.0 RTV. После визуального исследования от пластинки механически отделялись участки, содержащие наиболее подходящие для изучения ФВ. Размеры таких участков составляли от 3 × 3 до 4 × 4 мм.

Микрокриотермометрические параметры были замерены с помощью криотермокамеры Linkam THMSG-600 (ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН). Камера оборудована управляющим программным обеспечением LinkSys 32-DV и позволяет измерять температуры фазовых пе-

реходов в интервале от  $-196$  до  $+600$  °С с точностью  $\pm 0.1$  °С в интервале температур от  $-20$  до  $+80$  °С и  $\pm 1$  °С за пределами этого интервала.

Изучались преимущественно двухфазовые ФВ размером более 5 мкм. В момент исчезновения газового пузырька при нагревании препарата в камере фиксировали температуры полной гомогенизации в жидкость. Расчеты концентраций солей проводились с использованием программы FLINCOR (Brown, 1989), а также данных из работы (Bodnar, 1993).

Определение содержания летучих компонентов в образцах проводилось В. А. Крейсбергом на химическом факультете МГУ методом кинетической термодесорбционной масс-спектрометрии с количественным анализом потоков веществ, выделяющихся в высокий вакуум при прогреве образца определенной степени дисперсности от комнатной температуры до  $1400$  °С в ступенчатом режиме нагрева (Крейсберг и др., 2007).

Пробоподготовка осуществлялась в Институте геохимии СО РАН. Образцы готовились в виде кварцевой крупки гранулометрического состава  $174$ — $450$  мкм. Схема пробоподготовки для термодесорбционной масс-спектрометрии включает следующие процессы: ручное дробление до фракции  $-50$  мм; промывка; дробление до фракции  $-25$  мм; классификация до фракции  $+5$ — $-25$  мм; химическое травление куска с помощью 10% HCl; сушка; стирание в кварцевом стирателе.

Подготовленный образец загружался в ампулу из отожженного кварцевого стекла и вакуумировался в течение суток. Все слабо связанные, физически адсорбированные на поверхности примеси удалялись в высоком вакууме ( $10^{-7}$ — $10^{-8}$  торр) до начала масс-спектрометрического отжига. При последующем ступенчатом нагреве с интервалом в  $200$  °С постоянно регистрировалась кинетика выделения воды, а на изотермических участках нагрева записывался весь масс-спектр выделяющихся газообразных продуктов (Крейсберг и др., 2007).

Химическое обогащение (ХО) исходной кварцевой крупки проводилось по стандартной процедуре (Непомнящих и др., 2017) в смеси кислот 20 % HCl:10 %HF при соотношении жидкого к твердому (Ж/Т) 2:1; сушка кварцевой крупки — при температуре  $120$  °С в вакуумном сушильном шкафу.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАЗЦОВ

Макроскопически порода представляет собой кварц от светло-серого и белого на сколах до серого цвета в пятнах. Порода характеризуется массивной текстурой без видимых минеральных включений, за исключением редких тончайших чешуек серицита. Образцы хотя и непрозрачны, но просвечивают в тонких сколах и имеют вид замутненного монокристалла кварца или горного хрусталя и поэтому получили название «сливных».

В породе слоистость не наблюдается, однако при микроскопическом изучении видно, что все зерна слегка вытянуты в одном направлении, при этом субпараллельная ориентировка проявлена слабо. Кварц характеризуется гранобластовым обликом. Размерность зерен по длинной оси: мелкобластовая — менее  $0.5$  мм; среднебластовая —  $0.5$ — $1$  мм; крупно- и грубобластовая —  $1$  мм и более.

По взаимоотношениям составляющих в образце можно выделить агрегаты кварца двух генераций.

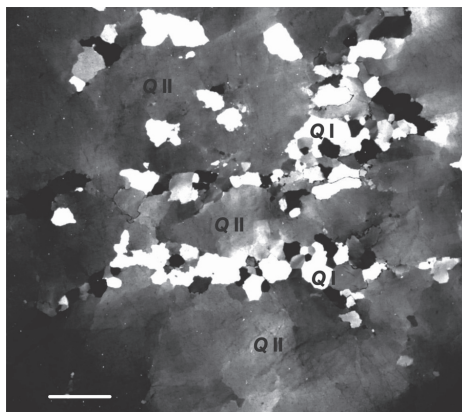
Кварц I генерации характеризуется зернами средне-, реже мелкобластовой размерности, с неравномерным облачно-волнистым и облачно-зональным по-

Рис. 1. «Сливной» кварц. Агрегаты кварца I генерации (Q I) находятся по краям агрегатов кварца II генерации (Q II).

Масштабная линейка составляет 1 мм. Фото сделано при скрещенных николях.

Fig. 1. «Compact» quartz. The quartz grains of the I generation (Q I) are located in the edges of the quartz grains of the II generation (Q II).

The scale line is 1 mm. The photo was taken with crossed polarizers.



гасанием. Скопление агрегатов формируют образования мозаичного облика. Морфология представлена изометричной округлой и неправильной формами. Границы зерен преимущественно раковистые и ровные, реже сутурные и мозаичные, иногда лапчатые между средне- и мелкобластовыми агрегатами (рис. 1).

Кварц II генерации представлен агрегатами от средне- до крупно- и грубобластовой размерности. Морфология — неправильная вытянутая, изометричная, слегка вытянутая в направлении общей субпараллельной ориентировки породы. При скрещенных поляризаторах наблюдается всегда неравномерное — облачное, облачно-зональное, облачно-волнистое и волнистое погасание. Границы — раковистые, округлые, ровные.

Наблюдается перекристаллизация и рост новообразованных крупно- и гигантобластовых агрегатов кварца II генерации на фоне реликтов кварца I генерации (рис. 1). Кварц I генерации представлен остатками некогда крупных зерен, разрушенных по краям до агрегатов средне- и мелкобластовой размерности.

На фоне кварцевой массы редко встречаются единичные иголки и чешуйки серицита размером менее 0.01 мм (рис. 2, б). Они распространены в образце неравномерно. В мелко- и среднебластовых агрегатах кварца I генерации вкраплений серицита меньше, чем в агрегатах кварца II генерации.

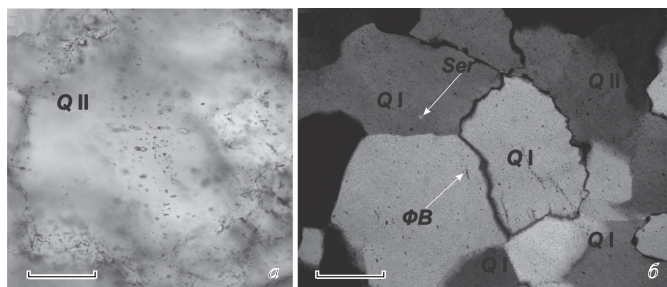


Рис. 2. «Сливной» кварц: а — флюидонасыщенность кварца II генерации (Q II), фото сделано при параллельных поляризаторах; б — взаимоотношения агрегатов кварца I генерации (Q I). Чешуйки серицита (Ser), флюидные включения (ФВ) внутри кварца. Фото сделано при скрещенных николях.

Масштабные линейки на рисунках а и б составляют 0.2 мм.

Fig. 2. «Compact» quartz. а — fluidsaturation of quartz grains of the II generation (Q II), photo taken with parallel polarizers; б — relationship of quartz grains of the I generation (Q I). Scales of sericite (Ser), fluid inclusions (ФВ) inside the quartz grain. Photo taken with crossed polarizers.

The scale lines in figures а and б are 0.2 mm.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 1 приведены результаты измерения содержаний летучих компонентов, полученные нами на основе термодесорбционной спектроскопии.

Наиболее важной характеристикой качества сырья является содержание высокотемпературных форм примесей, которые удаляются наиболее долго в процессе термической обработки и определяют прозрачность или пузырчатость получаемого стекла. Особую роль тут играет вода как основная по количеству примесей в кварце, не подвергнутом высокотемпературной термической обработке. В «сливном» кварце отмечаются повышенные содержания высокотемпературной воды (табл. 1). Существенное значение для получения прозрачного кварцевого стекла имеет концентрация СО в кварцитах. Выделение монооксида углерода СО несколько превышает критическую величину 15 ppm. Как по результатам визуальных и микротермометрических исследований ФВ, так по определениям методом термодесорбционной масс-спектрометрии в образцах установлено присутствие СО<sub>2</sub> в значимых количествах.

«Сливной» кварц обладает высокой флюидонасыщенностью. При этом в крупно- и гигантозернистых агрегатах кварца II генерации отмечается большее количество ФВ по сравнению с агрегатами кварца I генерации (рис. 2, а, 3).

Отличительной особенностью «сливного» кварца от других кварцитов Ока-Урикского блока (Волкова, Непомнящих, 2016; Волкова и др., 2017) является то, что ФВ широко распространены здесь внутри агрегатов кварца и реже в межзерновом пространстве (рис. 3, а). Кроме того, наблюдаются цепочки ФВ, приуроченные к трещинам, которые пересекают сразу несколько зерен. Размеры ФВ в таких цепочках менее 2 мкм.

В агрегатах кварца I генерации отмечаются ФВ вытянутой, преимущественно трубчатой, столбчатой формы, реже сложной морфологии (рис. 3, б, в). В агрегатах кварца II генерации ФВ крупнее и более разнообразной формы, трубчатые, вытянутые овальные, неправильной вытянутой, изометричной формы с апофизами (рис. 3, а, б). Соотношение двухфазовых и однофазовых ФВ составляет 60/40. Размеры ФВ до 40 мкм.

Для определения солевого компонента нами проведены исследования по химическому обогащению кварцевых концентратов, полученных из «сливного» кварца. В табл. 2 (первая строка) приведены массовые доли примесей в исходных образцах кварцевого материала. Элементный состав примесей определялся методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Образцы для анализа готовились с применением термодробления в виде кварцевой крупки гранулометрического состава 175—450 мкм. Методика прободготовки описана в работе (Непомнящих и др., 2017).

Из анализа данных табл. 2 видно, что при стандартной схеме обогащения в кварцевом концентрате, полученном из «сливного» кварца, остается практи-

Таблица 1

**Содержание основных летучих компонентов в «сливном» кварце, ppm**  
**Concentrations of major volatile components in «compact» quart, ppm**

H <sub>2</sub> O			CO <sub>2</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>x</sub>	ΣC	H <sub>2</sub>	HCl	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>
<600 °C	>600 °C	Всего								
177.7	285	462.7	8.1	19.9	5.8	16.3	0.1	0.8	0.02	0.48

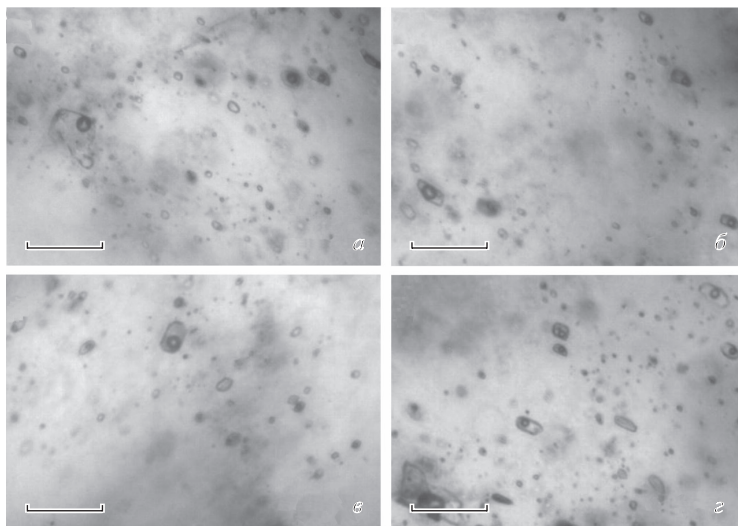


Рис. 3. Флюидные включения в «сливном» кварце. На рисунке б, в — кварц I генерации; а, г — кварц II генерации.

Масштабная линейка составляет 30 мкм.

Fig. 2. The fluid inclusions in «compact» quartz. In figure б, в — quartz grains of the I generation; а, г — quartz grains of the II generation.

The scale line is 30  $\mu\text{m}$ .

чески неизменной концентрация натрия. Учитывая, что этот тип кварцевого материала обладает высоким содержанием высокотемпературной воды, и что ФВ находятся преимущественно внутри зерен кварца, следует предположить, что основная часть натрия находится во ФВ. Для подтверждения этого предположения нами проведена высокотемпературная прокалка кварцевой крупки в вакууме при температуре 1450 °С в течение трех часов. Как видно из табл. 2 (третья строка), высокотемпературная прокалка концентрата приводит к резкому уменьшению концентрации натрия. Это связано с тем, что при высокотемпературной прокалке происходит вскрытие ФВ, находящихся внутри зерна. Таким образом, можно утверждать, что основным солевым компонентом ФВ в «сливном» кварце Восточного Саяна является натрий.

Измеренные значения температуры плавления льда изменяются в пределах от  $-5.9$  до  $-4.6$  °С (всего 48 значений). Температура полной гомогенизации ФВ в жидкость составляет: в одних ФВ от 163 до 175 °С (6 значений), в дру-

Таблица 2

**Массовые доли примесей в исходных образцах и в кварцевых концентратах, ppm**  
**Weight fractions of impurities in starting samples and quartz concentrates, ppm**

№	Тип кварца	Fe	Al	Ti	Ca	Mg	Cu	Mn	Na	K	Li	$\Sigma$
1	Исходный	4.9	10.4	0.3	7.3	0.9	0.2	0.1	20	6.2	0.3	50
2	После ХО*	0.7	7.3	0.4	5.6	0.4	0.2	0.07	20	3.6	0.4	40
3	После прокалики**	8.9	9.9	0.3	2.9	0.8	0.18	0.07	1.7	1.7	0.4	27

Примечание. \* Стандартное химическое обогащение. \*\* Прокалка кварцевой крупки сливного кварцита проведена в вакууме при температуре 1450 °С в течение трех часов.

гих ФВ — от 229 до 271 °С (всего 29 значений). Однако полная гомогенизация отмечалась не во всех ФВ. Во ФВ наблюдалось сужение газового пузыря при нагреве выше 130 °С, при этом некоторые из таких ФВ гомогенизировались частично, а другие не гомогенизировались вообще.

Так как установлено, что главным солевым компонентом ФВ является натрий, нами рассчитана соленость для системы NaCl—H<sub>2</sub>O на основании значений температур плавления и гомогенизаций в жидкость для ФВ с одинаковым соотношением фаз. Она составляет 7—9 мас. % экв. NaCl (Brown, 1989; Vodnar, 1993).

Встречаются так же однофазовые ФВ, содержащие только водный раствор, лед в таких ФВ не тает даже при положительных температурах (вблизи 0 °С).

Реже наблюдаются ФВ углекислотно-водного состава. Здесь можно увидеть двухфазовые ФВ (H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>) и существенно газовые (однофазовые) ФВ, содержащие плотную CO<sub>2</sub>. Размер таких включений до 8 мкм.

## ВЫВОДЫ

В образце «сливного» кварца присутствуют зерна двух генераций. Кварц I генерации встречается в виде реликтов некогда крупных зерен, разрушенных по краям до агрегатов средне- и мелкобластовой размерности, в результате перекристаллизации и роста новообразованных крупных и гигантобластовых агрегатов кварца II генерации

«Сливной» кварц характеризуется высокой флюидонасыщенностью и отличается от других кварцитов Ока-Урикского блока тем, что флюидные включения в нем находятся преимущественно внутри зерна, а не в межзерновом пространстве.

В образце «сливного» кварца обнаружено 3 типа флюидных включений по составу: водно-солевые (NaCl—H<sub>2</sub>O), водные и углекислотно-водные.

Проведенные исследования по химическому обогащению кварцевых концентратов показали, что основная часть высокотемпературной воды, углекислоты и натрия находится во флюидных включениях. Было установлено, что соленость во флюидных включениях водно-солевого состава соответствует 7—9 мас. % экв. NaCl.

На основании полученных данных была предложена схема обогащения. Кварцевая крупка, полученная из «сливного» кварца, была прокалена в вакууме при температуре 1450 °С в течение трех часов. Высокотемпературная проккалка концентрата привела к уменьшению концентрации натрия.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-05-00439а с использованием научного оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН.

## Список литературы

Анфилов В. Н., Кабанова Л. Я., Игуменцева М. А., Никандрова Н. К., Лебедев А. С. Геологическое строение, петрография и минералогия месторождения кварцитов Бурал-Сарьдак (Восточный Саян) // Разведка и охрана недр. 2015. № 7. С. 18—23.

Волкова М. Г., Непомнящих А. И. Результаты микрокриотермометрических исследований флюидных включений в кварцитах месторождения Бурал-Сардык // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 65—69.

Волкова М. Г., Непомнящих А. И., Федоров А. М., Махлянова А. М., Брянский Н. В. Флюидные включения в «суперкварцитах» месторождения Бурал-Сардык (Восточный Саян) // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 9. С. 1861—1870.

- Воробьев Е. И., Спиридонов А. М., Непомнящих А. И., Кузьмин М. И. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) // Доклады РАН. **2003**. Т. 390. № 2. С. 219—223.
- Крейсберг В. А., Ракчеев В. П., Серых Н. М., Борисов Л. А. Диагностика газовой-жидких примесей в кварце масс-спектрометрическим методом // Разведка и охрана недр. **2007**. № 10. С. 12—18.
- Кузьмичев А. Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М.: ПРОБЕЛ-2000. **2004**. 192 с.
- Макрыгина В. А., Федоров А. М. Преобразование кварцитов как следствие поздних тектонических событий в развитии Чуйской и Гарганской глыб // Геология и геофизика. **2013**. Т. 54. № 12. С. 1861—1870.
- Непомнящих А. И., Демина Т. В., Жабоедов А. П., Елисеев И. А., Лесников А. К., Лесников П. А., Паклин А. С., Романов В. С., Сокольников Ю. В., Федоров А. М., Шалаев А. А., Шендрик Р., Сапожников А. П. Оптическое кварцевое стекло на основе суперкварцитов Восточных Саян // Физика и химия стекла. **2017**. Т. 43. № 3. 288—295.
- Непомнящих А. И., Волкова М. Г., Жабоедов А. П., Лесников А. К., Лесников П. А., Паклин А. С., Сизова Т. Ю., Спиридонов А. М., Федоров А. М., Шалаев А. А., Шендрик Р. Ю. Оптическое стекло из кварцитов Восточного Саяна // Физика и химия стекла. **2018**. Т. 44. № 2. С. 169—177.
- Федоров А. М., Макрыгина В. А., Будяк А. Е., Непомнящих А. И. Новые данные о геохимии и механизме формирования кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян) // Доклады РАН. **2012**. Т. 442. № 2. С. 244—249.

## References

- Anfilogov V. N., Kabanova L. Ya., Igumentseva M. A., Nikandrova N. K., Lebedev A. S. Geological structure, petrography and mineralogy of the Bural-Sardak quartzite deposit (East Sayan). *Prospect and protection of mineral resources*. **2015**. N 7. P. 18—23 (in Russian).
- Bodnar R. J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O—NaCl. *Geochim. Cosmochim. Acta*. **1993**. Vol. 57. N 3. P. 683—684.
- Brown P. E. Flnconr: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *Amer. Miner.* **1989**. Vol. 74. P. 1390—1393.
- Fedorov A. M., Makrygina V. A., Nepomnyashchikh A. I., Zhaboedov A. P., Parshin A. V., Posokhov V. F., Sokolnikova Yu. V. Geochemistry and petrology of superpure quartzites from East Sayan Mountains, Russia. *Acta Geochim.* **2018**. P. 1—18.
- Fedorov A. M., Makrygina V. A., Budyak A. E., Nepomnyashchikh A. I. New data on the geochemistry and mechanism of formation of quartzites of the Bural-Sardag deposit (Eastern Sayan mountains). *Doklady Earth Sci.* **2012**. Vol. 442. N 2. P. 120—125.
- Kreysberg V. A., Rakcheyev V. P., Serykh N. M., Borisov L. A. Diagnostics of gas-liquid impurities in quartz by mass spectrometry. *Prospect and protection of mineral resources*. **2007**. N 10. P. 12—18 (in Russian).
- Kuz'michev A. B. Tectonic history of the Tuvino-Mongolian massif: Early Baikal, Late Baikal and Early Caledonian stages. Moscow, **2004**. 192 p. (in Russian).
- Makrygina V. A., Fedorov A. M. Quartzite transformation as a consequence of late tectonic events in the evolution of the Chuya and Gargan blocks. *Russian Geol. Geophys.* **2013**. Vol. 54. N 12. P. 1450—1457.
- Nepomnyashchikh A. I., Demina T. V., Zhaboedov A. P., Eliseev I. A., Paklin A. S., Sapozhnikov A. N., Sokol'nikova Y. V., Shalaev A. A., Shendrik R. Y., Lesnikov P. A., Lesnikov A. K., Fedorov A. M., Romanov V. S. Optical silica glass based on super quartzites from the Eastern Sayan Mountains. *Glass Physics and Chemistry*. **2017**. Vol. 43. N 3. P. 222—226.
- Nepomnyashchikh A. I., Volkova M. G., Zhaboedov A. P., Lesnikov A. K., Lesnikov P. A., Paklin A. S., Sizova T. Yu., Spiridonov A. M., Fedorov A. M., Shalaev A. A., Shendrik R. Yu. Optical glass from East Sayan quartzites. *Glass Physics and Chemistry*. **2018**. Vol. 44. N 2. 3. 169—177.
- Volkova M. G., Nepomnyashchikh A. I. The results of micro-cryo-thermometric studies of fluid inclusions in quartzites from the Bural-Sardak deposit. *Geography and nature sources*. **2016**. N 6. P. 65—69 (in Russian).
- Volkova M. G., Nepomnyashchikh A. I., Fedorov A. M., Makhlyanova A. M., Bryanskii N. V. Fluid inclusions in «superquartzites» of the Bural-Sardak deposit (East Sayan). *Russian Geol. Geophys.* **2017**. Vol. 58. N 9. P. 1053—1058.
- Vorob'ev E. I., Spiridonov A. M., Nepomnyashchikh A. I., Kuz'min M. I. Superpure quartzites of the Eastern Sayan (Burayt Republic, Russia). *Doklady Earth Sci.* **2003**. Vol. 390. N 4. P. 497—500.

Поступила в редакцию  
28 декабря 2018 г.