

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 553.546; 553.576

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(55-59)

А. М. ФЁДОРОВ<sup>1,2</sup>, В. А. МАКРЫГИНА<sup>1</sup>, А. И. НЕПОМНЯЩИХ<sup>1,2</sup>, И. А. ЕЛИСЕЕВ<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, sashaf@igc.irk.ru, vmakr@igc.irk.ru, ainep@igc.irk.ru, elia@igc.irk.ru<sup>2</sup> Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

### РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ НА КВАРЦЕВОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЧИСТЫХ КВАРЦЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Прибайкальская кварценозная провинция, занимая второе место в Российской Федерации по запасам кварцевого сырья всех известных геолого-промышленных типов месторождений, представляет большой научный и практический интерес для производителей высокочистых кварцевых концентратов. Наибольшее внимание следует уделить кварцитам Гарганского кварценозного района, где выделено около десятка проявлений нового нетрадиционного типа высокочистого кварцевого сырья. «Суперкварциты» и мелкозернистые кварциты месторождения Бурал-Сардык имеют ряд выгодных отличий от других геолого-промышленных типов.*

*Огромными перспективами для расширения минерально-сырьевой базы высокочистого кварцевого сырья обладают слабометаморфизованные хемогенно-осадочные кварциты-силициты, которые являются исходной породой для формирования тел «суперкварцитов» и мелкозернистых кварцитов. Уникальные химические, технологические и добычные свойства этих пород представляют главную их ценность. Кварциты Гарганского кварценозного района имеют низкие исходные содержания химических примесей, уменьшающиеся при обогащении в несколько раз, что ставит данный тип сырья в один ряд с такими известными марками, как ЮТА-кварц, кварц Кыштымского ГОКа и др. Основными минеральными примесями этих типов сырья являются слюды для «суперкварцитов» и карбонаты для кварцитов-силицитов, которые легко поддаются удалению при обогащении. Технологичность кварцевого сырья этого типа складывается из таких составляющих, как крупность месторождения (ресурсы в сотни тысяч тонн), близкое расположение к транспортным сетям, стабильность качественных характеристик полезного компонента на весь объем продуктивной толщи.*

*Восточная Сибирь обладает достаточным ресурсным потенциалом для создания площадки по обогащению кварцевого сырья и получению концентратов для оптического стекловарения, изготовления высоколиквидной кварцевой керамики и применения в солнечной энергетике.*

*Ключевые слова: «суперкварциты», особо чистые кварцевые концентраты, минерально-сырьевая база, метаморфизм, геохимия.*

А. М. FEDOROV<sup>1,2</sup>, V. A. MAKRYGINA<sup>1</sup>, A. I. NEPOMNYASHCHIKH<sup>1,2</sup>, AND I. A. ELISEEV<sup>1,2</sup><sup>1</sup> Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, sashaf@igc.irk.ru, vmakr@igc.irk.ru, ainep@igc.irk.ru, elia@igc.irk.ru<sup>2</sup> A. P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, 664033, Irkutsk, Favorskogo str., 1a, Russia

### QUARTZ RESOURCE POTENTIAL OF EASTERN SIBERIA FOR HIGH-PURITY QUARTZ PRODUCTION

*The Pre-Baikal quartz-bearing province holding the second largest quartz resources amongst all known geological and commercial types of quartz deposits in the Russian Federation is of considerable scientific and practical interest for manufacturers of high-purity quartz concentrates. Quartzite deposits of the Gargansky terrain with the discovered ten occurrences of new non-traditional high-purity raw quartz should be of primary concern. The Bural-Sardyk «superquartzite» and fine-grained quartzite display a number of favorable features distinguishing them from other geological-commercial types.*

*Weakly-metamorphosed chemogenic-sedimentary quartzite-silicite regarded as an original rock for «superquartzite» and fine-grained quartzite appear highly promising in terms of expanding the mineral resource base. The unique chemical, technological*

*and production properties of these rocks are of great value. Quartzite of the Gargansky terrain has a low initial content of chemical impurities whose concentrations decrease several times during the enrichment process, which ranks this quartz equal to such known products as IOTA-quartz, quartz of the Kyshtym Mining and Processing Plant and others. Basic mineral impurities for these types of raw material include micas for «superquartzite» and carbonates for quartzite-silicite which can be easily removed during the enrichment processes. Technological feasibility of this quartz type is underpinned by such components as a deposit size (hundred thousand tons of resources), close proximity to transport networks, stable qualitative characteristics of a useful component through the whole thickness of productive beds.*

*Eastern Siberia possesses sufficient resources for quartz enrichment and concentrate production necessary to optical glassmaking, manufacturing of readily marketable quartz ceramics and solar power application.*

*Keywords: «superquartzite», high-purity quartz products, mineral resources, metamorphism, geochemistry.*

В Российской Федерации открыты десятки месторождений особо чистого кварца практически всех известных геолого-промышленных типов, из которых лишь малая часть, относящаяся к гранулированному и прозрачному жильному кварцу, в настоящее время разрабатывается. Восточная Сибирь по ресурсам кварцевого сырья занимает второе место после Урала, но несмотря на продолжительную историю исследований, геологические особенности проявлений и месторождений кварца этого региона изучены недостаточно подробно и практически не известны широкому кругу научной общественности.

### ПРИБАЙКАЛЬСКАЯ КВАРЦЕНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ

Прибайкальская кварценосная провинция является одной из перспективных площадей в РФ на высококачественное кварцевое сырье (с суммарным содержанием регламентированных элементов-примесей менее десятых долей процента) для различных отраслей промышленности. В ее пределах были выявлены месторождения и проявления кварцевых жил, гранулированного кварца и высокочистых кварцитов. Наиболее перспективные регионы: Северо-Западный (месторождения Гоуджекит, Надежное, Тыйское), Патомский (месторождение «Жила 2821» Анахчи-Чипикетской группы) и Гарганский (месторождение кварцитов Бурал-Сардык (Бурал-Сарьдаг)). Кроме того, государственным балансом учтены такие месторождения, как Чулбон, Атархан и единственное разрабатываемое в настоящий момент месторождение кварцитов Черемшанское в Забайкалье. Выделяется также несколько десятков проявлений меньшего масштаба с авторскими и прогнозными ресурсами.

Все месторождения Прибайкальской кварценосной провинции изучены в разной степени и относятся к разным генетическим типам. Проявления Северо-Западного участка приурочены к Даванской и Абчадской структурно-тектоническим зонам смятия (Гоуджекит) и надвигово-сбросовой тектоники (Тыйское). Жилы Патомского района связаны с фронтальной зоной большепатомского надвига и межкупольными локальными зонами сжатия. Кварциты Бурал-Сардыка и Черемшанки представляют собой осадочно-метаморфогенные образования с различными источниками поступления материала и механизмами его преобразования.

### ПРОЯВЛЕНИЯ ГАРГАНСКОГО КВАРЦЕНОСНОГО РАЙОНА

В Восточном Саяне в результате работ ряда организаций (Окинская экспедиция, ИГХ СО РАН, ВНИИСИМС, ООО «Ока-К», «ВСЗК») выделяется новый тип высококремнистого сырья — «суперкварциты», которые имеют ряд выгодных отличий от других типов [1, 2], что позволяет рассматривать их как перспективное сырье не только для кремниевой промышленности, но и для наплава кварцевых стекол и получения кварцевой керамики.

**Геология.** Проявления кварцитов Гарганского кварценосного района (рис. 1) находятся в юго-восточной части Восточного Саяна, в северном секторе Тувино-Монгольского массива (Гарганская глыба). Фундамент Гарганской глыбы (2,7 млрд лет) представлен гнейсами, гнейсогранитами, амфиболитами и мигматитами, степень метаморфизма которых достигает гранулитовой фации [3]. Он перекрыт чехлом, нижняя продуктивная на высокочистые кварциты пачка которого сложена рифейскими сланцево-карбонат-кварцитовыми образованиями иркутской (монгошинской) свиты, широко развитой в северном и северо-западном обрамлении ядра глыбы. Они перекрываются терригенно-осадочными, существенно сланцевыми породами уртагольской свиты. Породы верхнерифейских офиолитов, обрамляющие Гарганскую глыбу с запада, северо-запада, северо-востока и юго-востока, представляют собой фрагменты деформированного и эродированного аллохтона, надвинутого на глыбу с северо-северо-запада [4, 5].

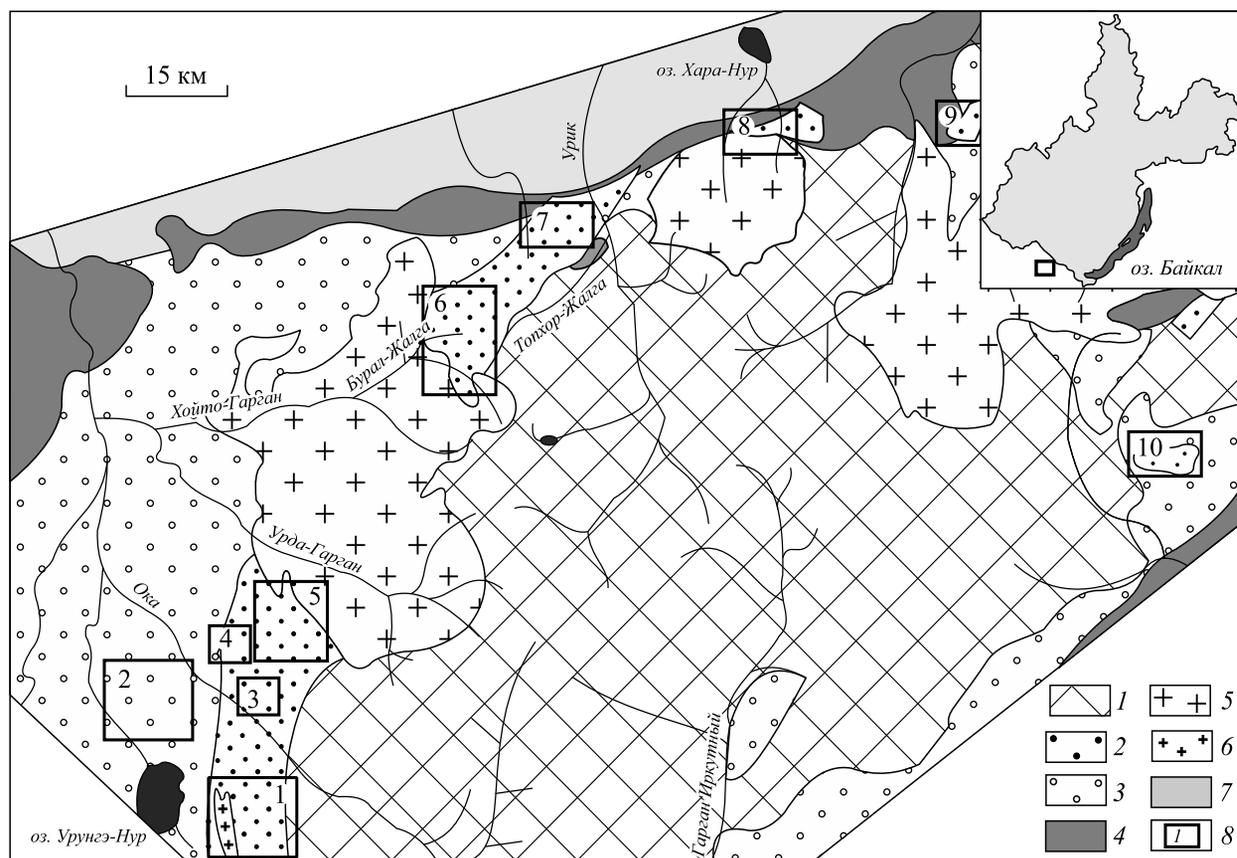


Рис. 1. Схематическая геологическая карта северной части Тувино-Монгольского массива:

1 — фундамент Гарганской глыбы; 2 — поля распространения осветленных кварцитов иркутской свиты; 3 — чехол Гарганской глыбы; 4 — офиолитовый комплекс нерасчлененный; 5 — гранитоиды сумсунурского комплекса; 6 — гранитоиды мункусардыкского комплекса; 7 — чехол Тувино-Монгольского массива; 8 — границы участков проявления осветленных кварцитов и их номера (1 — Урунгэнурский; 2 — Монгошинский; 3 — Окинский-1; 4 — Окинский-2; 5 — Урдагарганский; 6 — Буралсардыкский; 7 — Снежный; 8 — Харанурский; 9 — Холбинский; 10 — Амбартогольский).

Интрузии сумсунурского комплекса плагиигранитов (790 млн лет) тоналит-трондьемит-дацитовый серии распространены к юго-западу от месторождения Бурал-Сардык и к северо-востоку от Урдагарганского участка (Гарганский плутон) [5]. С юга Гарганскую глыбу обрамляют интрузивные породы гранитоидов хребта Мунку-Сардык [6].

Месторождение кварцитов Бурал-Сардык находится в юго-восточной части Восточного Саяна в пределах водораздельного хребта р. Хойто-Гарган (правого притока р. Оки) и р. Топхор-Жалга (левого притока р. Урик). Площадь месторождения представляет собой вытянутый в северо-восточном направлении горный массив Бурал-Сардык с высотной отметкой вершины 2788 м. В привершинных частях этого массива известно несколько изолированных выходов на поверхность белых кварцитов, в совокупности составляющих Бурал-Сардыкское месторождение. Наиболее детально изученный участок расположен на северном склоне горы Бурал-Сардык на высотных отметках 2600–2670 м.

Бурением скважин, выполненных ООО «Ока-К» при разведке месторождения, выявлено, что продуктивные тела «суперкварцитов» и кварцитов имеют пластовую форму и полого (5–7°) падают на запад-северо-запад. При этом осветленные кварциты подстилают «суперкварциты». Мощность пласта осветленных кварцитов от 8 до 14 м, «суперкварцитов» — от 6 до 12 м.

Урдагарганский участок расположен на юго-западном обрамлении Гарганской глыбы. Чехол глыбы сложен отложениями иркутской свиты, в составе которой доминируют серые, темно-серые тонкозернистые кварциты. Меньшим распространением пользуются карбонатные породы — доломиты и известняки, подчиненное значение имеют кварц-хлоритовые и углеродисто-слюдистые сланцы. Простираемость пород северо-восточное с падением на северо-запад под углами 40–50°.

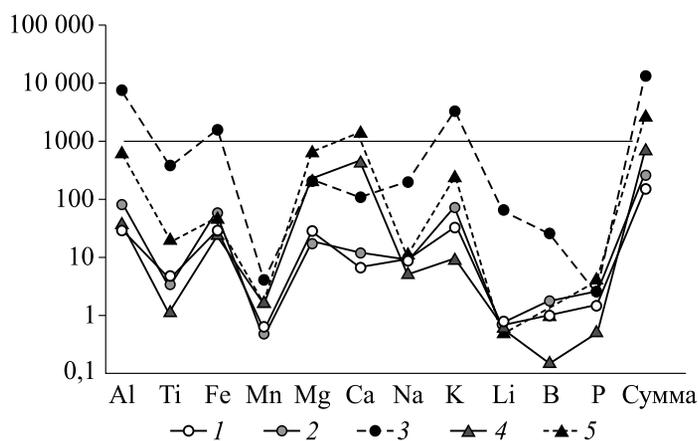


Рис. 2. Средние содержания петрогенных элементов в кварцитах Гарганской кварцитоносной зоны (в ppm).

1 — «суперкварциты» месторождения Бурал-Сардык; 2 — мелкозернистые кварциты месторождения Бурал-Сардык; 3 — темно-серые и черные кварциты месторождения Бурал-Сардык на контакте с интрузивными телами; 4 — кварциты Урунгэнурского участка; 5 — кварциты Урунгэнурского участка на контакте с интрузивными телами. Анализы выполнены методами ИСП-МС и АЭСА.

Все продуктивные тела сложены белыми, средне- и мелкозернистыми кварцитами, выделенными среди осветленных и исходных кварцитов. Исходные кварциты представляют собой серые, темно-серые, местами черные тонко- и мелкозернистые слоистые и массивные породы. Зоны осветления и перекристаллизации — это уже разная степень метаморфических преобразований кварцитов, которые на локальных участках превращены в грубозернистые, гигантозернистые разновидности — «суперкварциты». Обычно они приурочены к наиболее высоким частям рельефа.

Урунгэнурский участок расположен в южном секторе Гарганской глыбы, на левобережье р. Оки, восточнее оз. Урунгэ-Нур, где обнажаются карбонатно-кремнистые ритмично-полосчатые отложения иркутской свиты, представляющие моноклинально залегающую в направлении СЗ 320–340° с углами падения 7–10° толщину. Она разбита системой субвертикальных разрывных нарушений разного масштаба. Истинная мощность кремнисто-карбонатной пачки составляет около 200 м. На запад они сменяются существенно карбонатными известняками, которые прорываются интрузивными телами барунхолбинского и мункусардыкского комплексов.

Несмотря на то что породы иркутской свиты на Урунгэнурском участке испытали осветление и перекристаллизацию, тесная тонкая перемежаемость кварцитов с известняками и довольно однообразный их вид на всем изученном участке позволяют предполагать, что они не испытали наложенного этапа динамометаморфизма, и поэтому на этом участке продуктивные тела «суперкварцитов» не выделяются.

**Геохимическая характеристика.** Прецизионные геохимические исследования исходных кварцитов Урунгэнурского участка и месторождения Бурал-Сардык, а также проявлений Семерка и Белая Сопка на Урдагарганском участке привели к совершенно новым выводам относительно их генезиса [7]. Они позволяют рассмотреть возможность расширения минерально-сырьевой базы высокочистого кварцевого сырья за счет слабометаморфизованных исходных кварцитов, оказавшихся достаточно чистыми.

В первую очередь отмечается приуроченность всех участков развития кварцитов к одному стратиграфическому уровню иркутской свиты, сформировавшейся в условиях перехода от шельфа к океаническому склону в результате привноса вещества, вероятнее всего, в процессе апвеллинга [8]. Уникально высокая химическая чистота исходных кварцитов — главная предпосылка более позднего появления особо чистых «суперкварцитов».

Вторым важным результатом геохимических исследований разрезов кварцитов иркутской свиты вблизи гранитоидов на всех изученных участках — открытие наложенного процесса их загрязнения в зонах контакта с интрузивными телами различных генераций и возраста. Это выражается в значительном повышении в кварцитах содержания петрогенных элементов, а также редких гранитофильных и редкоземельных элементов (РЗЭ) (Al, Ti, K, REE и Y, а также Ba, Rb, B, Cs).

На месторождении Бурал-Сардык содержания редкоземельных элементов определяются в «суперкварцитах» как самые низкие, в осветленных кварцитах они в 10 раз больше, а в черных приконтактных — на 2 порядка больше. При этом кривая распределения редкоземельных элементов только в исходных кварцитах относительно ровная, а во всех остальных кварцитах имеет форму распределения, сходную с гранитоидами поздних фаз дифференциации с ярко выраженным Eu минимумом и относительно повышенными содержаниями легких РЗЭ [7]. Резкое снижение концентраций РЗЭ в «суперкварцитах» и осветленных кварцитах месторождения Бурал-Сардык при сохранении «гранитоидной» формы их спектра свидетельствует о том, что в кварцитах наблюдаются остаточные концентрации РЗЭ, привнесенных ранее гранитоидами.

## ВЫВОДЫ

Прибайкальская кварценозная провинция, занимая второе место в РФ по запасам кварцевого сырья всех известных геолого-промышленных типов месторождений, имеет большой научный и практический интерес для производителей кварцевых концентратов.

Наибольшие перспективы по запасам и способу добычи представляют кварциты Восточного Саяна, для которых изучены и сформулированы поисковые признаки прогнозирования участков образования кварцитов такого или близкого типа: 1) благоприятная геодинамическая обстановка, способствующая накоплению исходно чистых кварцитов в результате процесса апвеллинга глубоководных вод и хемогенного осаждения кремнезема в условиях перехода от протяженного шельфа к континентальному склону; 2) тектоническая позиция, ведущая к динамотермальной перекристаллизации исходных пород, их автолизии и образованию осветленных кварцитов и «суперкварцитов»; 3) отсутствие в непосредственной близости от выходов кварцитов магматических образований разного генезиса, что исключает поступление внешнего источника загрязняющего флюида.

Восточная Сибирь обладает достаточным ресурсным потенциалом для создания площадки по обогащению кварцевого сырья и получению концентратов для оптического стекловарения, изготовления высоколиквидной кварцевой керамики и применения в солнечной энергетике.

*Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИНЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей» с использованием оборудования и методик ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьёв Е. И., Спиридонов А. М., Непомнящих А. И., Кузьмин М. И. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) // Докл. РАН. — 2003. — Т. 390, № 2. — С. 219–223.
2. Фёдоров А. М., Непомнящих А. И., Спиридонов А. М., Середкин Е. А. Месторождение кварцитов Бурал-Сарьдаг как источник расширения минерально-сырьевой базы для металлургии кремния // Материалы Всерос. совещания «Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья». Миасс, 25–27 мая 2011. — Миасс, 2011. — С. 163–166.
3. Анисимова И. В., Левицкий И. В., Котов А. Б. и др. Возраст фундамента Гарганской глыбы (Вост. Саян): результаты U–Pb геохронологических исследований // Изотопные системы и время геологических процессов: Материалы IV Рос. конф. по изотопной геохронологии. — Санкт-Петербург, 2009. — Т. 1. — С. 35–36.
4. Добрецов Н. Л. О покровной «тектонике» Восточного Саяна // Геотектоника. — 1985. — № 1. — С. 39–50.
5. Кузьмичев А. Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. — М.: ПРОБЕЛ-2000, 2004. — 192 с.
6. Ефремов С. В. Раннепалеозойские адакиты Восточного Саяна. Геохимические особенности источника вещества // Геохимия. — 2010. — № 11. — С. 1185–1201.
7. Фёдоров А. М., Макрыгина В. А., Будяк А. Е., Непомнящих А. И. Новые данные о геохимии и механизме формирования кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян) // Докл. РАН. — 2012. — Т. 442, № 2. — С. 244–249.
8. Семейкин И. Н., Шевелева Н. И. Фациальные ряды морских карбонатных осадков и их рудоносность // Изв. СО Секции наук о Земле РАЕН. — 2011. — № 1 (38). — С. 139–150.

*Поступила в редакцию 20 октября 2016 г.*