

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.99-106>

УДК 549.514.51

Перспективы Мало-Чипикетской кварценосной зоны на кварцевое сырье высокого качества

Л.Х. Галиахметова*, Н.Г. Быдтаева, А.Е. Непряхин
ФГУП «ЦНИИГеолнеруд», Казань, Россия

В статье рассматриваются перспективы Мало-Чипикетской зоны в южной части Патомского кварценосного района Прибайкальской провинции, как потенциально вероятной новой сырьевой базы гранулированного и прозрачного кварца на востоке страны. Оценка перспектив площади проведена согласно разработанному в ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» алгоритму изучения кварцевых объектов, включающему комплекс наиболее эффективных методов оценки кварцевого сырья, кварцевых концентратов и продуктов из них. Результаты исследований показали высокую результативность алгоритма. Исследования позволили на стадии поисковых работ экспрессно, с высокой долей вероятности провести разбраковку объектов по качеству сырья, выделить рудно-формационные типы кварца и наметить возможные направления использования сырья. Полученные результаты были использованы при выделении и оконтуривании перспективных участков кварцевых жил для оценки прогнозных ресурсов выделенных рудно-формационных типов кварца.

Ключевые слова: Патомский кварценосный район, алгоритм изучения кварцевых объектов, кварцевое сырье, типоморфные признаки кварца, кварцевый концентрат, рудно-формационные типы

Для цитирования: Галиахметова Л.Х., Быдтаева Н.Г., Непряхин А.Е. (2019). Перспективы Мало-Чипикетской кварценосной зоны на кварцевое сырье высокого качества. *Георесурсы*, 21(3), с. 99-106. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.99-106>

Введение

Природное кварцевое сырье остается в мировой практике основным стратегическим источником получения высокочистых кварцевых продуктов (концентратов, микро- и нанопорошков) для высокотехнологичных производств. Все кварцевые продукты различной степени химической чистоты являются базовыми компонентами полупроводниковой, оптической, светотехнической и других важнейших отраслей промышленности (Аксенов и др., 2012; Бурьян и др., 2007).

Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России включает месторождения пьезооптического кварца, горного хрусталя, гранулированного, прозрачного и непрозрачного (молочно-белого) жильного кварца и кварцитов. Потребность в пьезооптическом кварце и горном хрустале в настоящее время практически отсутствует по причине замены природного сырья искусственными аналогами. Основными источниками для получения кварцевых концентратов особой чистоты служат гранулированный и прозрачный жильный кварц с ведущей ролью гранулированного (Аксенов и др., 2015). Основные запасы и добыча гранулированного кварца сосредоточены в Уфалейском кварценосном районе Уральской провинции.

В данной статье рассматриваются перспективы Мало-Чипикетской зоны в южной части Патомского кварценосного района Прибайкальской провинции, как потенциального объекта гранулированного и прозрачного жильного кварца, расширяющего минерально-сырьевую базу (МСБ) кварцевого сырья России. Работами, проведенными сотрудниками бывшего ВНИИИСИМС под руководством А.Г. Малышева

(1985-94 гг.) в бассейне верхнего течения р. Б. Патом и водоразделов смежных бассейнов, доказана перспективность района, дана прогнозная оценка территории на кварцевое сырье. Но незначительные масштабы проведенного геолого-технологического изучения потребовали более полномасштабных геологических и геолого-технологических исследований кварцевого сырья и его обогатимости.

В 2017 году в рамках государственного контракта с Федеральным агентством по недропользованию (Роснедра) завершены поисковые работы в южной части Патомского кварценосного района, в процессе которых получены данные, указывающие на перспективы выявления новых промышленных объектов в пределах Мало-Чипикетской кварценосной зоны.

Методы исследований

Исследования проведены согласно ранее разработанному ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» алгоритму изучения кварцевых объектов, включающему комплекс наиболее эффективных методов оценки кварцевого сырья, кварцевых концентратов и продуктов из них (Аксенов и др., 2015). Алгоритм включает три блока: I – геологическое изучение кварцевых объектов и природного кварцевого сырья, II – разработка оптимальной технологической схемы обогащения сырья, получение и оценка качества глубоко обогащенных кварцевых концентратов, III – комплекс методов получения готовой продукции (стекла) в лабораторных условиях, наиболее приближенных к промышленным, и методы оценки её качества.

Первые два блока позволяют на стадии поисковых работ определить качество сырья, прогнозировать возможные направления его использования, корректировать схемы обогащения при получении особо чистых кварцевых концентратов и отбраковать труднообогатимое сырье.

* Ответственный автор: Лилия Хуснулловна Галиахметова
E-mail: gal-lilia@mail.ru

© 2019 Коллектив авторов

Положительные результаты являются основанием проведения заключительного этапа (III блок) исследований с получением готовой продукции.

Согласно алгоритму, **первый этап** исследований включал полевые работы и аналитические исследования рядовых проб методами минералогического анализа, атомной эмиссии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, определения коэффициента светопропускания, электронного парамагнитного резонанса, растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Полевые методы включали визуальное изучение кварцевых жил, их параметров, характера контактов жил с вмещающими породами, наличие и виды проникающих примесных минеральных компонентов и степень их развития, визуальной чистоты самого кварца, гранулометрию, а также исследование жиловмещающего комплекса. На **втором этапе** была проведена технологическая оценка обогатимости кварцевого сырья на лабораторно-технологических пробах в Аналитико-технологическом сертифициционно-испытательном центре (АТСИЦ) ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» и на малых технологических пробах на опытно-промышленной линии ОАО «Кыштымский ГОК». Качество полученных концентратов оценивалось согласно действующим ТУ и стандартам российских и зарубежных производителей.

Результаты

Прибайкальская кварценозная провинция обладает большими перспективами по ресурсной базе гранулированного и прозрачного кварца. Наиболее перспективным является Патомский кварценозный район (Мальшев, 1987), который находится во внутренней части дугообразного Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса к северу от верховьев р. Б. Патом. С севера и востока район обрамляет дугообразная зона поднятий, с северо-запада и юго-востока ограничен разломами северо-восточного направления. Мало-Чипикетская кварценозная зона расположена в южной части Патомского кварценозного района и представляет собой шовную зону смятия с набором соответствующих структур (надвиги, купола, сдвиги, выполненные бластомилонитами, бластокатаклазитами).

В результате проведения поисковых работ на площади Мало-Чипикетской кварценозной зоны, помимо ранее выявленных кварцепроявлений, обнаружено свыше 200 жил и их развалов. Кварцевые жилы сосредоточены в двух тектонических блоках – западном Хайвергинском и восточном Чипикетском, разделенных Бугарихтинским разломом субмеридионального простираения. На основе морфоструктурного анализа, проведенного по известной методике (Волчанская, 1990), на площади выделена серия купольно-кольцевых структур разного ранга и формы (Быдтаева и др., 2018). К этим структурам, к ограничивающим их кольцевым и дуговым разломам, линейным сдвиги-надвигом и вихревым надвигом приурочены кварцевые жилы.

Жилвмещающие породы относятся к хайвергинской и бугарихтинской свитам баллаганахской подсерии среднего рифея.

Хайвергинский жилвмещающий комплекс отличается большой пестротой состава: преобладают сланцы с различными петрографо-петрохимическими

и геохимическими особенностями, переслаивающиеся с кварцитами, кварцито-гнейсами. Основная минеральная ассоциация сланцев – биотит-мусковит – указывает на преобразования вмещающих пород в условиях хлорит-мусковитовой субфации зеленосланцевой фации до эпидот-амфиболитовой с появлением парагенезиса: гранат+мусковит+биотит+кварц. Широко представлены динамометаморфические породы, для которых характерна структурная неоднородность, полосчато-линзовидный и пятнистый облик, присутствие метасоматических преобразований, микропорфиробластические обособления. Отмечаются брекчированные породы, а также милониты, филлониты, бластомилониты. В результате интенсивно проявленных наложенных тектонических деформаций Мало-Чипикетская зона приобрела сложное покровно-складчатое строение с широким развитием надвиговых структур. При этом произошло надвигание пород хайвергинской свиты на бугарихтинскую.

Для метаморфогенно-гидротермальных месторождений, к которым относятся месторождения кварцевого сырья, исходные первично-осадочные породы рассматриваются как источники вещества и рудообразующих флюидов.

Для хайвергинского комплекса составы слюдястых сланцев попадают в поля пелитовых и алевропелитовых аргиллитов, пиррофиллитовых, реже слабо карбонатистых и слабо железистых сиаллитов. Исходные составы хлорит- и амфиболсодержащих сланцев отнесены к граувакковым алевролитам, карбонатным и железистым алевролитам и алевропелитам. Известно, что пелитовые осадки содержат в повышенном количестве поровые растворы с высоким содержанием кремнезема. Метаморфические преобразования исходных пород, преимущественно пелитового состава, приводят к выделению законсервированных поровых растворов, содержащих кремнезем, с последующим его отложением в зонах рассланцевания. Наличие протяженных надвигов в пределах хайвергинской свиты создало благоприятные условия экранирования растворов, а присутствие в составе свиты углеродсодержащих сланцев, по-видимому, способствовало осаждению ряда химических элементов из кварцобразующих растворов, обеспечивая, тем самым, чистоту кварца.

Бугарихтинский комплекс характеризуется преобладанием в составе плаггиогнейсов и кварцитов с подчиненной ролью сланцев. Это высококремнистые породы с пониженным содержанием суммы щелочей. Повсеместное присутствие в минеральной ассоциации граната указывает на повышенную степень метаморфизма пород этого комплекса. Исходные породы плаггиогнейсов и кварцитов бугарихтинского комплекса охарактеризованы как аркозы и полимиктовые субаркозы, а также как граувакковые песчаники или туффиты средне-основного состава. Для исходных пород такого состава характерно пониженное содержание воды в поровых растворах. При их метаморфических преобразованиях происходит выделение водных флюидов, содержащих растворенный кремнезем, и его отложение в тектонически подготовленных участках (зонах рассланцевания). Но объем выделившегося флюида, исходя из состава первичных пород, невелик, по сравнению с породами хайвергинского комплекса, поэтому процесс кварцеобразования ограниченно проявлен в породах бугарихтинского комплекса.

Первый этап. Полевое изучение жильного кварца Мало-Чипикетской кварценозной зоны показало его неоднородность по текстурно-структурным особенностям и вещественному составу. Наиболее широко распространены жилы, сложенные неравномернозернистым динамометаморфизованным кварцем. Выделяются также жилы гранулированного кварца средне-мелкозернистой структуры и первично кристаллического кварца гигантозернистой структуры (Быдтаева и др., 2018; Галиахметова и др., 2019).

Кварцевые жилы, сложенные неравномернозернистым динамометаморфизованным кварцем, приурочены преимущественно к гнейсо-углеродисто-сланцевым породам хайвергинской свиты. Жилы линзовидной, редко плитообразной формы, длиной от 20 до 70 м и мощностью 2-5 м. Наиболее крупные жилы достигают 130 м при мощности 3-3,5 м. Жилы сложены светло-серым кварцем с прозрачными и полупрозрачными зернами неправильной формы размером от 1-10 мм до 2-3 см.

Жилы гранулированного кварца приурочены преимущественно к кварцито-гнейсовым породам бугарихтинской свиты. Характерно пологое, субогласное залегание жил с падением в северных румбах под углами 10-30°. Жилы преимущественно линзовидной формы, реже встречаются плитообразные тела. Линзовидные жилы достигают длины 40-50 м, имея мощность в раздувах до 5-7 м. Жилы сложены белым, светло-серым кварцем с прозрачными и полупрозрачными зернами близкой к изометричной формы размером 1-5 мм.

Гигантозернистый первично кристаллический кварц распространен ограниченно, слагает маломощные жилы небольших размеров. Макроскопически кварц выглядит как сливной с неясными очертаниями индивидов, сложен неоднородными по прозрачности зернами. Открытыми трещинами кварц разбит на блоки неправильной формы. Залеченные трещины представлены системой субпараллельных протяженных зон, в которых концентрируются газопо-жидкие включения (ГЖВ).

Образцы кварца, наиболее полно характеризующие структурно-текстурные особенности выделенных типов, были исследованы методом растровой электронной

микроскопии (РЭМ), так как исследование морфологии поверхностей сколов позволяет решать генетические проблемы месторождений кварца и технологические аспекты оценки кварцевого сырья (Белковский и др., 1999).

На фрактограммах растровой электронной микроскопии поверхности сколов и изломов различных типов кварца существенно отличаются друг от друга. В неравномернозернистом динамометаморфизованном кварце обнаружены участки рекристаллизации и случаи регенерации единичных мелких зерен на контакте более крупных (рис. 1 а). Для гранулированного кварца характерно однородное строение (рис. 1 б). Гигантозернистый первично кристаллический кварц отличается от остальных идеально гладким микрорельефом, на поверхности которого наблюдаются осколки матрицы, удерживаемые статическим зарядом и указывающие на внутреннее напряжение в кристалле (рис. 1 в).

Границы кварцевых зерен являются участками инфильтрации флюидов и гидротермальных растворов, на которых происходит преимущественное переотложение вещества. Поверхности изломов часто имеют микропористое строение либо покрыты ямками природного травления, которые представляют собой пирамидки с остrokонечной вершиной. Фигуры травления отмечаются в гранулированном средне-мелкозернистом и неравномернозернистом динамометаморфизованном кварце. В гранулированном кварце степень растворения незначительная (рис. 1 г). Наиболее интенсивному растворению подвергались зерна неравномернозернистого динамометаморфизованного кварца, в котором поверхности изломов полностью покрыты ямками травления и порами (рис. 1 д, е). Последние являются участками локализации газопо-жидких включений.

Несмотря на то, что кварц относится к наиболее чистым природным веществам, он содержит примеси, которые подразделяются по характеру их вхождения в состав кварца на минеральные, газопо-жидкие и структурные.

Наибольшее количество минеральных примесей обнаружено в неравномернозернистом динамометаморфизованном кварце, в котором в порядке убывания присутствуют гидроокислы железа, мусковит, альбит,

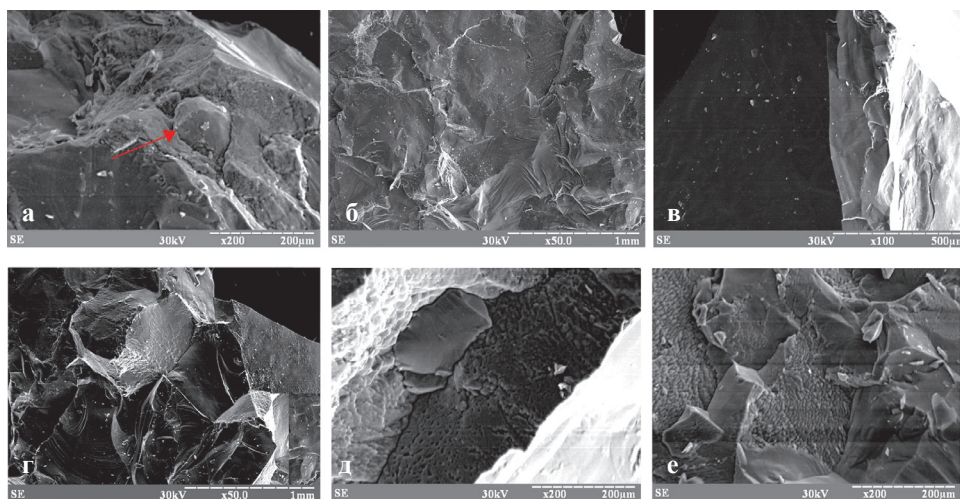


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение: а – свежего скола неравномернозернистого динамометаморфизованного кварца; б – свежего скола средне-мелкозернистого гранулированного кварца; в – свежего скола гигантозернистого первично кристаллического кварца; г – поверхности изломов гранулированного кварца; пор (д) и ямок травления (е) в неравномернозернистом динамометаморфизованном кварце.

хлорит и биотит, встречаются магнетит, пирит, ильменит и графит (рис. 2 а). В гигантозернистом кварце основную массу включений составляют мусковит, гидроокислы железа, биотит, альбит, хлорит, серицит, рутил и магнетит (рис. 2 б). Гранулированный кварц характеризуется наименьшим содержанием минеральных включений, основная доля которых приходится на мусковит, гидроокислы железа, альбит и хлорит (рис. 2 в).

При оценке кварцевого сырья помимо качественных и количественных характеристик минеральных включений большую роль играют такие важные параметры, как форма вхождения минеральных примесей и характер срастания их с кварцем. Выявление особенностей локализации минеральных включений в жильном кварце раскрывает возможности обогащения кварцевого сырья и способствует выбору оптимальной схемы обогащения. В неравнозернистом динамометаморфизованном кварце минеральные включения располагаются в межзерновом пространстве и трещинах, реже внутри кварцевых зерен (рис. 3 а). В гигантозернистом первично кристаллическом кварце наблюдается большое количество мелкодисперсных включений мусковита и биотита, тонкие иголки рутила внутри кварцевых зерен (рис. 3 б, в). В изученных образцах гранулированного кварца минеральные включения располагаются в межзерновом пространстве.

Техническими условиями на определенные виды кварцевых продуктов регламентируется показатель коэффициента светопропускания, который отражает относительную насыщенность кварца газовой-жидкими включениями. Для гранулированного кварца присущи высокие показатели коэффициента светопропускания (69,2-82%), для гигантозернистого кварца, наоборот, низкие (от 35,3%). Следует отметить, что в гигантозернистом кварце встречаются высокопрозрачные участки с высоким показателем светопропускания (до 80,2%), но их объем не превышает 15-20% от жильной массы. Коэффициент светопропускания неравнозернистого динамометаморфизованного кварца составляет 53,7-80,8%.

Состав газовой-жидких включений был установлен хроматографическим анализом. Согласно полученным данным, включения имеют углекислотно-водный состав. Общее количество газов, выделившихся при нагреве кварцевого порошка в корундовом тигле со скоростью 10°C/мин., было зафиксировано в интервалах температур 100-600°C и 600-1000°C. В интервале температур 100-600°C общее количество выделенных газов составляет 35,97-120,82 мкг/г, из них на долю H₂O приходится 35,5-120,2 мкг/г (90,3-99,8%). Содержание CO₂ не превышает 2,2 мкг/г (7,7%). Также отмечается незначительное количество CO и CH₄. В высокотемпературной области газовой-выделение резко сокращается. Общее количество выделенных газов снижается до 12,7-35,1 мкг/г. При этом уменьшается доля H₂O в составе газов (89,3-97,7%), и увеличивается доля CO до 1,2 мкг/г, что соответствует 6,8% от общего количества. Выделение CO₂ в высокотемпературном и низкотемпературном интервалах меняется незначительно.

Концентрация структурных примесей дает возможность оценить предельную чистоту сырья, т.к. очистка кварца от структурных примесей при современных методах обогащения не представляется возможной. В кварце Мало-Чипикетской зоны основным парамагнитным центром является Al-O⁻. Гранулированный кварц характеризуется низкими концентрациями Al-O⁻, гигантозернистый кварц – высокими концентрациями данного центра. В динамометаморфизованном кварце этот параметр занимает промежуточное положение.

Дефекты, связанные с вхождением примесей различных элементов в структуру кварца, приводят к искажениям решетки, что соответственно отражается на параметрах элементарной ячейки. Для определения степени совершенства кристаллического строения кварца используется индекс кристалличности (CI), который для идеальной кристаллической решетки кварца принят за 10 отн.ед. В результате выполненных исследований установлено повышение степени совершенства кристаллического строения

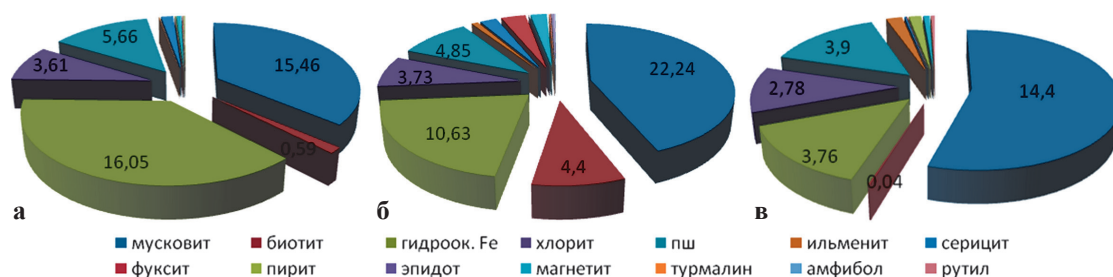


Рис. 2. Среднее содержание минеральных примесей (px10⁻³%): а – в неравнозернистом динамометаморфизованном кварце; б – в гигантозернистом первично кристаллическом кварце; в – в средне-мелкозернистом гранулированном кварце.

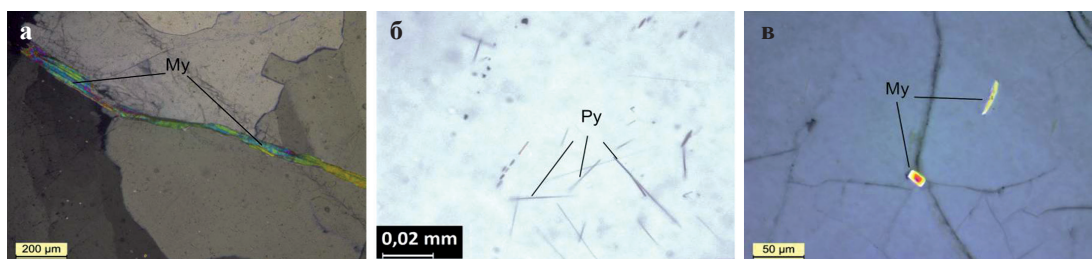


Рис. 3. Минеральные включения в жильном кварце Мало-Чипикетской зоны: а – мусковит в межзерновом пространстве неравнозернистого динамометаморфизованного кварца; б – тонкие иголки рутила в гигантозернистом кварце; в – мелкодисперсный мусковит в гигантозернистом кварце.

кварца в ряду: неравномернозернистый динамометаморфизованный кварц (5,7) → гигантозернистый первично кристаллический кварц (6,1) → средне-мелкозернистый гранулированный кварц (6,9).

Минеральные включения в совокупности с газожидкими и структурными примесями определяют химический состав кварца. Основными химическими элементами-примесями жильного кварца Мало-Чипикетской зоны являются Al, Fe, Na, K, Li, Ca, P и Ti, содержание которых определено методом атомно-эмиссионной спектроскопии (табл. 1). Содержание радиоактивных элементов (U и Th) в кварце колеблется в диапазоне от 0,002 до 4,581 ppm.

Результаты изучения типоморфных особенностей исходного кварцевого сырья Мало-Чипикетской зоны приведены в таблице 2.

Совокупность установленных типоморфных признаков выделенных природных типов кварца Мало-Чипикетской зоны позволяет прогнозировать качество получаемых из них кварцевых продуктов и предварительно наметить основные сферы их использования. Наиболее перспективным для получения высококачественных кварцевых концентратов признано кварцевое сырье, получаемое из жил гранулированного кварца, которое характеризуется повышенной химической чистотой, высоким светопропусканием, низким содержанием минеральных и структурных примесей. Кварцевое сырье из жил неравномернозернистого динамометаморфизованного кварца по качественным показателям уступает гранулированному кварцу и пригодно преимущественно для производства рядового кварцевого стекла. Сырье, получаемое из жил гигантозернистого первично кристаллического кварца, является труднообогащаемым, т.к.

содержит тонкодисперсные минеральные включения внутри кварцевых зерен, большое количество газожидких и структурных примесей.

Повышенное содержание урана и тория в подрешетном продукте фракции (0,1 мм) изученных проб не позволяет использовать сырье в качестве высокочистых порошков спецназначения.

На **втором этапе** проводилась технологическая оценка обогатимости сырья на лабораторно-технологических (ЛТП) и малых технологических пробах (МТП), отобранных с учетом результатов аналитических исследований рядовых проб.

Использованные технологические схемы обогащения по набору методов обогащения в целом подобны и включают: рудоразборку (только для МТП проб) – дробление – фракционирование – магнитную сепарацию – флотацию – кислотную обработку (выщелачивание) – термообработку концентратов – финишную магнитную сепарацию (только для МТП проб).

Качество особо чистых кварцевых концентратов регламентируется ТУ 5726-002-11496665-97 «Кварцевые концентраты из природного кварцевого сырья для наплава кварцевых стекол». Кроме того, производителями кварцевых концентратов (ООО «Русский кварц») разработаны свои технические требования.

Качество полученных из лабораторно-технологических проб кварцевых концентратов большинства изученных жил укладывается в диапазоны норм, регламентируемых ТУ-97 и техническими требованиями мировых и отечественных производителей (рис. 4). Средние показатели химического состава кварцевых концентратов изученных жил по нормируемым элементам, в том числе индивидуальные показатели по таким элементам как Al,

Тип кварца (количество анализов)	Среднее содержание элементов-примесей, ppm															
	Al	Ti	Ca	Mg	Cu	Cr	Ni	Co	Mn	Na	K	Li	P	Fe	B	Σ _{эл}
Неравномернозернистый динамометаморфизованный (n=19)	39,4	3,1	6,2	2,1	0,4	5,5	0,2	0,02	0,9	12,1	10,6	1,4	5,3	87,4	0,1	174,5
Средне-мелкозернистый гранулированный (n=24)	27,9	2,4	2,4	1,7	0,4	4,5	0,2	0,02	0,8	6,9	6,9	1,2	2,5	45,3	0,1	103,2
Гигантозернистый первично кристаллический (n=11)	47,6	3,2	8,3	2,1	0,4	5,4	0,2	0,01	0,9	5,9	5,3	1,7	3,6	103	0,2	187,9

Табл. 1. Среднее содержание элементов-примесей в жильном кварце Мало-Чипикетской зоны. Определение элементов-примесей проводилось методом атомной эмиссии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в лаборатории АТСИЦ ФГУП «ЦНИИ-Геолеруд» (аналитики: О.В. Вишневецкая, М.Ш. Дрешер, Р.Р. Гильмутдинов).

Типоморфные признаки кварца	Средне-мелкозернистый гранулированный кварц	Неравномернозернистый динамометаморфизованный кварц	Гигантозернистый первично кристаллический кварц
Структура	средне-мелкозернистая	неравномернозернистая	гигантозернистая
Минеральные включения	мусковит, гидроокислы железа, альбит, хлорит, биотит, магнетит	гидроокислы железа, мусковит, альбит, хлорит, биотит, магнетит, пирит, ильменит, графит	мусковит, гидроокислы железа, биотит, альбит, серицит, рутил, магнетит
Распределение минеральных включений	в межзерновом пространстве	в трещинах, межзерновом пространстве, редко внутри кварцевых зерен	внутри кварцевых зерен, в трещинах
Светопропускание, (Т, %)	$\frac{69-82}{74}$	$\frac{54-81}{69}$	$\frac{35-80}{64}$
Концентрация [Al-O], ppm	8,1	10,1	13,5
Σ элементов-примесей, ppm	132,9	189,03	188,2
Индекс кристалличности	6,9	5,7	6,1

Табл. 2. Типоморфные признаки жильного кварца Мало-Чипикетской кварценоносной зоны. Исследования выполнены в лабораториях АТСИЦ ФГУП «ЦНИИ-Геолеруд».

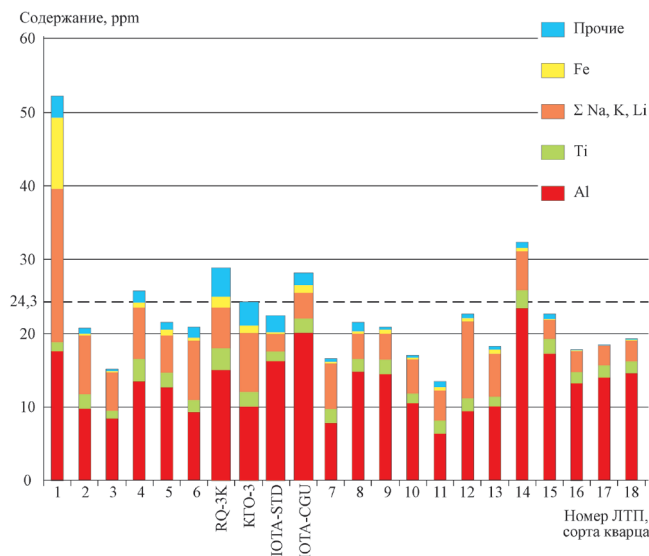


Рис. 4. Показатели химической чистоты кварцевых концентратов из лабораторно-технологических проб

Ti, Fe, а также групповые показатели: $\Sigma_{Na,K,Li}$ – сумма щелочных элементов-примесей, сумма показателей по другим нормируемым элементам, – сопоставимы с требованиями производителей (табл. 3). Параметр однородности кварцевого сырья конкретной жилы определялся отношением числа высококачественных концентратов к общему числу обогащенных борзодовых проб, выраженным в процентах. Кварцевое сырье преобладающего числа жил характеризуется параметром однородности в диапазоне 80-100%. Это означает, что качество кварцевых концентратов, получаемых из сырья краевых частей жилы в основном соответствует качеству концентратов центральной части жилы.

При масс-спектрометрическом изучении глубоко обогащенных кварцевых концентратов гранулированного кварца в низкотемпературном интервале выделилось 5,4 ppm воды, а в высокотемпературном интервале – 22 ppm, что не превышает нормируемое количество высокотемпературной воды по ТУ-97.

Технологическая оценка обогатимости кварцевого сырья, выполненная на опытно-промышленной линии ОАО «Кыштымский ГОК» на малых технологических пробах, отобранных с учетом результатов аналитических и лабораторно-технологических исследований, показала, что качество полученных концентратов соответствует сортам КГО-2 и КГО-3 по ТУ-97 или сортам RQ-3K, RQ-4K технических требований ТТ 7.04-13 ООО «Русский кварц». Результаты сопоставления качества глубоко обогащенных кварцевых концентратов, полученных из МТП-проб, с требованиями производителей приведены в таблице 4 и на рисунке 5. Из 17 проб, прошедших испытания в опытно-промышленных условиях, 7 проб (41%) соответствуют сортам КГО-3 по ТУ-97 и RQ-3K по ТТ 7.04-13 и могут быть рекомендованы как высококачественное плавочное сырье; 9 проб (53%) соответствуют сортам КГО-2 и RQ-4K и могут быть использованы в качестве рядового плавочного сырья. Одна проба (6%) не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к высококачественным концентратам, по коэффициенту светопропускания.

На основании полученных данных о типоморфных особенностях кварца, качестве кварцевых концентратов

Показатель, ppm	ЛТП 1	ЛТП 2	ЛТП 3	ЛТП 4	ЛТП 5	ЛТП 6	*RQ-3K	KGO-3	IOTA-STD	IOTA-CGU	ЛТП 7	ЛТП 8	ЛТП 9	ЛТП 10	ЛТП 11	ЛТП 12	ЛТП 13	ЛТП 14	ЛТП 15	ЛТП 16	ЛТП 17	ЛТП 18
Al	17,5	9,73	8,39	13,44	12,64	9,23	15	10	16,2	20	7,80	14,75	14,41	10,46	6,35	9,40	10,00	23,60	17,62	13,34	14,26	14,91
Ti	1,25	1,97	1,06	3,12	2,01	1,69	3	2	1,3	2	1,94	1,83	1,99	1,36	1,75	1,78	1,35	2,61	2,34	1,51	1,64	1,65
$\Sigma_{Na,K,Li}$	20,80	8,02	5,13	6,95	5,07	8,07	5,5	8	2,4	3,5	6,08	3,36	3,86	4,60	4,08	10,39	5,80	5,61	2,81	3,14	3,10	2,97
Fe	9,65	0,19	0,22	0,62	0,78	0,36	1,4	1	0,23	1	0,21	0,33	0,15	0,23	0,47	0,44	0,65	0,39	0,21	0,23	0,00	0,24
Σ прочих нормируемых элементов	2,90	0,71	0,23	1,60	1,00	1,45	4	3,3	2,23	1,65	0,53	1,14	0,34	0,30	0,75	0,62	0,40	0,74	0,69	0,16	0,17	0,21
Параметр однородности, %	15,4	64,7	100	100	83,3	81,8	-	-	-	-	83,3	93,8	80,0	100	80,0	81,8	28,6	32,3	-	-	-	-

Табл. 3. Качество кварцевых концентратов по химическому составу и параметр однородности изученных кварцевых жил. Примечание: *качество высококачественных кварцевых концентратов компании UNIMIN и российских компаний.

Сорта концентратов/ Номера проб	Т, %	Содержание примесей, ppm													
		Al	B	Na	K	Li	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Ti	Cr	Ni	Σ _{эл}
ТУ 5726-002-11496665-97 Кварцевые концентраты из природного кварцевого сырья для наплава кварцевых стекол															
КГО-2	80	15	-	5	3	3	3	2	2	0,3	0,3	2	-	-	35,6
КГО-3	80	10	-	5	2	1	2	1	1	0,2	0,1	2	-	-	24,3
Требования к кварцевым концентратам из гранулированного кварца ООО «Русский кварц»															
RQ-2КС	80	5,0	0,1	0,5	0,3	0,4	0,6	0,2	0,5	-	<0,1	3,0	0,1	0,1	10,9
RQ-3К	80	15,0	-	2,0	2,0	1,5	2,0	2,0	1,4	-	-	3,0	-	-	28,9
RQ-4К	80	20,0	0,2	9,0	5,0	1,0	5,0	8,0	3,0	0,3	0,3	3,0	0,3	0,3	55,4
Требования к кварцевым концентратам компании UNIMIN (США)															
Iota STD		16,2	0,08	0,9	0,60	0,9	0,5	<0,05	0,30	<0,05	<0,05	1,3			20,93
Мало-Чипикетская кварценозная зона															
МТП-1	81,1	17,3	0,07	1,70	0,55	2,1	0,12	0,07	0,10	0,01	0,01	2,0	0,01	0,01	24,05
МТП-2	82,0	19,3	0,06	0,77	0,10	3,1	0,11	0,04	0,08	0,01	0,01	2,2	0,01	0,01	25,80
МТП-3	85,9	17,4	0,07	0,90	0,26	2,1	0,74	0,50	0,15	0,01	0,01	2,7	0,01	0,01	24,86
МТП-4	88,1	12,7	0,06	0,61	0,35	1,9	0,10	0,08	0,16	0,01	0,01	1,2	0,01	0,01	17,04
МТП-5	83,5	15,4	0,06	1,00	0,44	1,4	0,11	0,13	0,18	0,01	0,01	2,4	0,01	0,01	21,16
МТП-6	86,7	13,4	0,11	0,89	0,70	2,1	0,20	0,10	0,12	0,01	0,01	1,2	0,01	0,01	18,86
МТП-7	87,8	17,4	0,10	0,94	0,98	1,6	0,12	0,17	0,12	0,01	0,01	2,5	0,01	0,01	23,97
МТП-8	90,0	20,0	0,08	0,68	0,78	1,8	0,14	0,18	0,12	0,01	0,01	2,6	0,01	0,01	26,24
МТП-9	82,1	20,2	0,07	1,60	1,10	2,3	0,10	0,15	0,15	0,01	0,01	2,5	0,01	0,01	28,21
МТП-10	87,4	18,4	0,07	1,20	0,82	1,5	0,05	0,09	0,08	0,01	0,01	3,0	0,01	0,01	25,25
МТП-11	88,0	22,1	0,04	0,92	1,00	2,2	0,12	0,14	0,13	0,01	0,01	2,4	0,01	0,01	28,94
МТП-12	80,6	19,9	0,09	0,77	0,70	2,0	0,05	0,13	0,09	0,01	0,01	2,0	0,01	0,01	25,77
МТП-13	87,3	20,4	0,03	0,70	0,80	2,5	0,05	0,11	0,11	0,01	0,01	2,5	0,01	0,01	27,24
МТП-14	80,6	24,0	0,09	1,90	0,64	2,8	0,12	0,21	0,11	0,01	0,01	2,5	0,01	0,01	32,41
МТП-15	80,0	13,9	0,06	1,10	0,60	1,3	0,09	0,08	0,10	0,01	0,01	2,1	0,01	0,01	19,37
МТП-16	70,9	14,7	0,10	1,50	0,74	1,0	0,10	0,11	0,12	0,01	0,01	2,0	0,01	0,01	19,34
МТП-17	82,8	15,5	0,07	1,00	0,88	1,4	0,08	0,13	0,20	0,01	0,01	2,2	0,00	0,01	21,49

Табл. 4. Соответствие качества кварцевых концентратов глубокого обогащения требованиям отечественных и зарубежных производителей

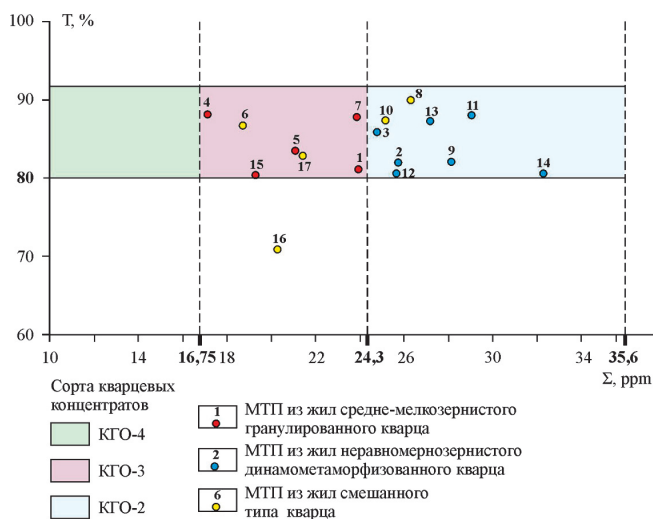


Рис. 5. Соответствие качества кварцевых концентратов требованиям ТУ-97 по основным показателям

и по особенностям локализации кварцевых жил выделено два потенциально перспективных рудно-формационных типа: гранулированный и неравномернозернистый динамометаморфизованный. Гранулированный кварц по качественным характеристикам и особенностям жиловмещающего комплекса отнесен к кварцито-гнейсовой формации гранулированного кварца и рекомендован как высококачественное плавочное сырье. Неравномернозернистый кварц отнесен к гнейсо-углеродисто-сланцевой формации неравномернозернистого динамометаморфизованного кварца и рекомендован для использования в качестве рядового плавочного сырья.

Выводы

На примере Мало-Чипикетской кварценозной зоны показана объективная результативность алгоритма изучения кварцевых объектов. Исследования позволили на стадии поисковых работ экспрессно, с высокой долей вероятности провести разбраковку объектов по качеству сырья, выделить рудно-формационные типы кварца и наметить возможные направления использования сырья. Такой подход позволяет избежать неоправданных затрат на обогащение и опытную плавку некачественного сырья.

Полученные результаты были использованы при выделении и оконтуривании перспективных участков кварцевых жил для оценки прогнозных ресурсов двух рудно-формационных типов кварца.

Вышеприведенные данные позволили авторам сделать вывод о высоком качестве кварцевого сырья Мало-Чипикетской кварценозной зоны и рекомендовать более детальные исследования с применением III блока алгоритма.

Результаты проведенных работ повышают перспективы Патомского кварценозного района в целом и Мало-Чипикетской кварценозной зоны в частности по созданию крупной сырьевой базы кварца в Восточной Сибири.

Финансирование/Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного контракта с Федеральным агентством по недропользованию (Роснедра) в содружестве с ОАО «Кыштымский ГОК» и АО «Иркутскгеофизика».

Авторы выражают глубокую благодарность рецензенту к.г.-м.н. А.М. Федорову за ценные замечания, которые способствовали улучшению работы.

Литература

Аксенов Е.М., Быдтаева Н.Г., Бурьян Ю.И. и др. (2012). Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья. *Разведка и охрана недр*, 5, с. 24-27.

Аксенов Е.М., Быдтаева Н.Г., Бурьян Ю.И. и др. (2015). Перспективы использования кварцевого сырья России в высоких технологиях. *Разведка и охрана недр*, 9, с. 57-66.

Белковский А.И., Нестеров А.Р., Красильников П.А. (1999). Растровая электронная микроскопия жильного кварца. *Разведка и охрана недр*, 3, с. 23-24.

Бурьян Ю.И., Борисов Л.А., Красильников П.А. (2007). Кварцевое сырье – важнейший вид минеральных ресурсов для высокотехнологичных отраслей промышленности. *Разведка и охрана недр*, 10, с. 9-12.

Быдтаева Н.Г., Галиахметова Л.Х., Киселева Р.А., Непряхин А.Е. (2018). Структурно-вещественный комплекс Мало-Чипикетской кварценозной зоны Патомского кварценозного района. *Разведка и охрана недр*, 12, с.15-23.

Волчанская И.К., Сапожникова Е. Н. (1990). Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 159 с.

Галиахметова Л.Х., Быдтаева Н.Г. (2019). Типоморфные признаки жильного кварца и их значение для прогнозирования качества кварцевых продуктов (на примере Мало-Чипикетской зоны Патомского

кварценозного района, Иркутская область). *Отечественная геология*, 1, с.50-58. DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10006.

Малышев А.Г. (1987). Особенности формирования кварцевых жил в Патомском нагорье. *Докл. АН СССР*. 292 (2), с. 430-432.

Сведения об авторах

Лилия Хуснулловна Галиахметова – научный сотрудник, ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»

Россия, 420097, Казань, ул. Зинина, д. 4

E-mail: gal-lilia@mail.ru

Нина Григорьевна Быдтаева – канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»

Россия, 420097, Казань, ул. Зинина, д. 4

Александр Евгеньевич Непряхин – канд. хим. наук, главный технолог, ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»

Россия, 420097, Казань, ул. Зинина, д. 4

Статья поступила в редакцию 04.04.2019;

Принята к публикации 04.06.2019; Опубликовано 01.09.2019

IN ENGLISH

Prospects of the Malo-Chipiketsky quartz-bearing zone for quartz raw materials of high quality

L.Kh. Galiakhmetova*, N.G. Bydtaeva, A.E. Nepryakhin

Central Research Institute of Geology of Industrial Minerals (CNIIGeolnerud), Kazan, Russian Federation

*Corresponding author: Liliya Kh. Galiakhmetova, e-mail: gal-lilia@mail.ru

Abstract. The article discusses the prospects of the Malo-Chipiketsky zone in the southern part of the Patomsky quartz-bearing region of the Baikal province, as a potentially probable new raw material base for granular and transparent quartz in the east of the country. The assessment of the area prospects was carried out according to the algorithm developed by FSUE TsNIIgeolnerud for studying quartz objects, which includes a set of the most effective methods for assessing quartz raw materials, quartz concentrates and products from them. The research results showed high efficiency of the algorithm. The studies made it possible at the stage of prospecting to expressly, with a high degree of probability, sort out objects according to the quality of raw materials, identify ore-formation types of quartz and outline possible directions for the use of raw materials. The results were used in the selection and contouring of promising sections of quartz veins to assess the predicted resources of the selected ore-formation types of quartz.

Keywords: Patomsky quartz-bearing region, algorithm for studying quartz objects, quartz raw material, typomorphic quartz showings, ore-formation types

Recommended citation: Galiakhmetova L.Kh., Bydtaeva N.G., Nepryakhin A.E. (2019). Prospects of the Malo-Chipiketsky quartz-bearing zone for quartz raw materials of high quality. *Georesursy = Georesources*, 21(3), pp. 99-106. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.99-106>

References

Aksenov E.M., Bydtaeva N.G., Buriyan Yu.I. et al. (2012). Modern problems of studying and using the mineral resource base of quartz raw materials. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 5, pp. 24-27. (In Russ.)

Aksenov E.M., Bydtaeva N.G., Buriyan Yu.I. et al. (2015). Prospects for the use of quartz raw materials of Russia in high technologies. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 9, pp. 57-66. (In Russ.)

Belkovskii A.I., Nesterov A.R., Krasilnikov P.A. (1999). Scanning electron microscopy of vein quartz. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 3, pp. 23-24. (In Russ.)

Bur'yan Yu.I., Borisov L.A., Krasil'nikov P.A. (2007). Quartz raw materials are the most important type of mineral resources for high-tech industry. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 10, pp. 9-12. (In Russ.)

Bydtaeva N.G., Galiakhmetova L.Kh., Kiseleva R.A., Nepryakhin A.E. (2018). The structural-material complex of the Malo-Chipiketsky quartz-bearing zone of the Patomsky quartz-bearing region. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 12, pp.15-23. (In Russ.)

Galiakhmetova L.Kh., Bydtaeva N.G. (2019). Typomorphic features of vein quartz and their significance for forecasting the quality of quartz products (example from the Malo-Chipiketsky zone of the Patomsky quartz region (Irkutsk region)). *Otechestvennaya geologiya*, 1, pp. 50-58. (In Russ.) DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10006.

Malyshev A.G. (1987). Features of the formation of quartz veins in the Patom Highlands. *Dokl. AN SSSR*, 292(2), pp. 430-432. (In Russ.)

Volchanskaya I.K., Sapozhnikova E.N. (1990). Analiz rel'efa pri poiskakh mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Analysis of the relief when searching for mineral deposits]. Moscow: Nedra, 159 p. (In Russ.)

About the Authors

Liliya Kh. Galiakhmetova – Researcher, Central Research Institute of Geology of Industrial Minerals (CNIIGeolnerud)
4 Zinina st., Kazan, 420097, Russian Federation
E-mail: gal-lilia@mail.ru

Nina G. Bydtaeva – PhD (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Central Research Institute of Geology of Industrial Minerals (CNIIGeolnerud)
4 Zinina st., Kazan, 420097, Russian Federation

Alexander E. Nepryakhin – PhD (Chemistry), Chief Technologist, Central Research Institute of Geology of Industrial Minerals (CNIIGeolnerud)
4 Zinina st., Kazan, 420097, Russian Federation

Manuscript received 4 April 2019;

Accepted 4 June 2019; Published 1 September 2019