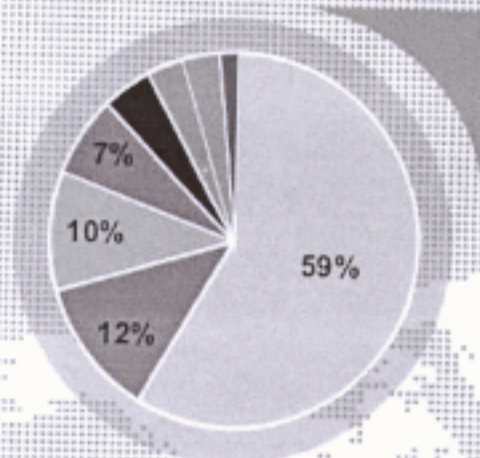


# ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ  
НА ТВЁРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ  
В 2018 Г. И ЗАДАЧИ НА 2019 Г.

ПРОГНОЗНО-МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ  
РАЙОНИРОВАНИЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА НА  
МЕДНО-ПОРФИРОВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ



КОПИЯ  
ВЕРНА

№ 1 / 2019

## Типоморфные признаки жильного кварца и их значение для прогнозирования качества кварцевых продуктов (на примере Мало-Чипикетской зоны Патомского кварценосного района, Иркутская область)

Л.Х.ГАЛИАХМЕТОВА, Н.Г.БЫДТАЕВА (Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых» (ФГУП «ЦНИИГеолнеруд»); 420097, г. Казань, ул. Зинина, д. 4)

Приводятся результаты изучения типоморфных признаков жильного кварца Мало-Чипикетской зоны Патомского кварценосного района. Установленные типоморфные признаки использовались для отбраковки неперспективного сырья, выделения потенциально перспективных кварцевых жил, оценки их прогнозных ресурсов и прогноза качества получаемых кварцевых продуктов.

**Ключевые слова:** кварцевое сырьё, жильомещающий комплекс, типоморфные признаки, Патомский кварценосный район.

Галиахметова Лилия Хуснуловна

Быдтаева Нина Григорьевна  
кандидат геолого-минералогических наук



gal-lilia@mail.ru

bdt-aleks@mail.ru

## Typomorphic features of vein quartz and their significance for forecasting the quality of quartz products (example from the Malo-Chipiketsk zone of the Patomsky quartz region (Irkutsk region))

L.Kh.GALIAXHMETOVA, N.G.BYDTAEVA (Federal state unitary enterprise «Central research Institute of Geology of non-metallic minerals»)

The study results of vein quartz typomorphic signs in the Malo-Chipiketsk zone of the Patomsky quartz region are presented. The established typomorphic features were used to reject unpromising raw materials, isolate potentially promising quartz veins, assess their inferred resources, and predict the quality of the obtained quartz products.

**Key words:** quartz raw materials, vein-hosting complex, typomorphic features, the Patom quartz region.

Основные перспективы Сибири на кварцевое сырьё связаны с Патомским кварценосным районом, который охватывает значительную часть Прибайкальской провинции [7, 10]. В результате ранее проведённых тематических и геологоразведочных работ на площади района выявлено большое количество кварцевых жил, незначительная часть которых была оценена. Наиболее перспективной признана Мало-Чипикетская зона. В её пределах проведены поисковые работы. На этой стадии геологоразведочных работ важным является изучение комплекса типоморфных свойств кварца, которые не только характеризуют качество исходного кварцевого сырья, но и позволяют выбирать первоочередные объекты исследования, отбраковывая неперспективные.

Целью проведённой работы явилось установление типоморфных признаков жильного кварца и возможности их использования на стадии поисков для выявле-

ния и оценки потенциально перспективных кварцевых жил, отбраковки неперспективных типов, прогноза качества получаемых кварцевых продуктов на примере Мало-Чипикетской зоны.

Патомский кварценосный район находится в северной части Прибайкальской провинции, к северо-востоку от верховьев р. Большой Патом. Дугообразная зона поднятий (Чуйское, Тонодское и Нечерское) обрамляет район с севера и востока, а в центре складчатой области размещены внутренние синклинии – Мамский и Бодайбинский. Верхне-Таймендрским разломом субширотного простирания район разделён на северный и южный блоки. Северный блок представлен линейными субширотными складками, центральной структурой которого является протяжённая до 80 км в ширину 4–5 км синформа, выполненная гранит-диоритовыми, графитсодержащими сланцами. Южный блок



*Handwritten signature*



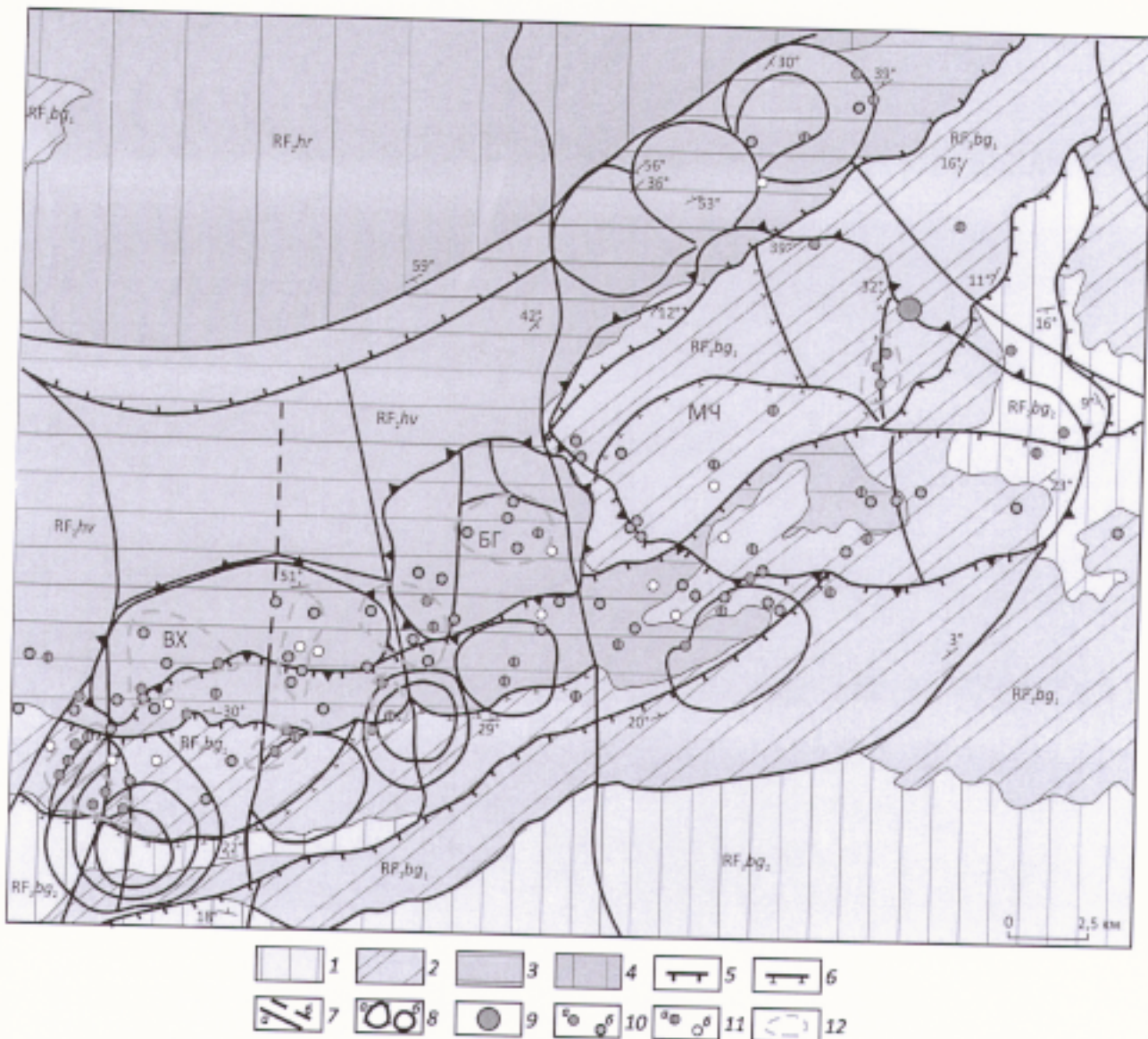


Рис. 1. Структурно-минерогенетическая схема Мало-Чипикетской кварценовой зоны:

бугарихтинская свита: 1 – верхняя (RF<sub>2</sub>bg<sub>1</sub>) и 2 – нижняя (RF<sub>2</sub>bg<sub>2</sub>) подсвиты; 3 – хайвергинская свита (RF<sub>2</sub>hv); 4 – хорлухтагская свита (RF<sub>2</sub>hr); 5 – надвиги; б – сбросы; 7 – сдвиги: а – достоверные, б – предполагаемые; 8 – купольно-кольцевые структуры: а – крупные: ВХ – Верхне-Хайвергинская, БГ – Бугарихтинская, МЧ – Мало-Чипикетская и б – мелкие; 9 – месторождение Жила 2821; 10 – проявления кварца: а – средне-мелкозернистого гранулированного, б – неравномерно-зернистого динамометаморфизованного; 11 – проявления: а – смешанного типа, б – гигантозернистого первично-кристаллического кварца; 12 – контуры участков локализации перспективных кварцевых жил, рекомендованные для оценки прогнозных ресурсов

выделенный как Мало-Чипикетская кварценовая зона (МЧКЗ), представляет собой шовную зону смятия с набором соответствующих структур (надвиги, купола, сдвиги, выполненные бластомилонитами, бластокатаклазитами).

Меридиональным Бугарихтинским разломом Мало-Чипикетская кварценовая зона разделена на два тектонических блока – Западный и Восточный (рис. 1).

Западный блок состоит из двух тектонических пластин, сложенных породами хайвергинской и бугарихтинской свит, обособленных в тектонические пластины, которые ограничены фрагментами региональных надвигов и субмеридиональных разломов (сдвигов). Ведущую роль в формировании кварцево-жильной минерализации МЧКЗ выполняют купольные и кольцевые структуры – надвиги. Жиломеридиональный является

КОПИЯ  
ВЕРНА



рассланцованные породы хайвергинского и бугарихтинского комплексов. В пределах Восточного блока основную часть занимает Мало-Чипикетская куполовидная структура, представляющая собой сбросо-глыбовую впадину. Положительными (рудолокализирующими) структурами являются только дуговые блоки – горсты, образованные разломами, ограничивающими купол.

Петрографо-петрохимическое изучение вмещающих пород показало, что исходные терригенно-осадочные породы, относимые к хайвергинской и бугарихтинской свитам балаганаской подсерии среднего рифея, преобразованы в условиях зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой, редко амфиболитовой фации. В составе хайвергинской свиты преобладают гранат-слюдяные, графит-слюдяные, слюдяно-кварцевые сланцы с подчинённой ролью плагиогнейсов, кварцитов, амфиболитов, амфибол-цоизитовых пород и филлитов. Породы бугарихтинского комплекса представлены переслаиванием кварцитов, плагиогнейсов с незначительной ролью сланцев. Практически все изученные породы несут следы динамометаморфических преобразований: имеют полосчато-линзовидный и пятнистый облик, микропорфирокластические обособления, повышенное содержание углеродисто-графитового вещества.

Кварцевые жилы образуют «цепочки» скальных выходов, сопровождающиеся ореолами разрозненных глыб, валунов и щебня жильного кварца. Жилы преимущественно линзообразной, реже плитообразной форм имеют субсогласное залегание с вмещающими толщами с падением в северных румбах. Длина линзообразных жил обычно не превышает 40–50 м, мощность в раздувах достигает 5–7 м. Жилы плитообразной формы в длину нередко достигают 100 м и более.

**Основные типоморфные особенности жильного кварца.** Особенности физико-химических условий образования кварца и кварцевых агрегатов отражены в морфологии, структурно-текстурном облике, кристаллическом строении, физических свойствах, составе минеральных индивидов, агрегатов, продуктов их изменений, микровключений и других признаках, которые принято называть типоморфными.

*Морфологические особенности.* На основании полевых наблюдений и оптико-микроскопических исследований выделено три основных природных типа кварца: 1) неравномерно-зернистый динамометаморфизованный, 2) средне-мелкозернистый гранулированный, 3) гигантозернистый первично-кристаллический.

На изученной площади наиболее широко представлены жилы, сложенные неравномерно-зернистым в различной степени метаморфизованным кварцем. Наиболее крупные из них протяжённостью до 140 м при средней мощности 4 м. На поверхности жилы обнажаются в виде гривок шириной 15–20 м и высотой до 5 м. Жилы сложены светло-серым кварцем желтоватого оттенка с прозрачными и полупрозрачными зёрнами неправильной формы (рис. 2, А). Текстура в основном массивная, но иногда заметна линейность: кварцевые зёрна слегка вытянуты и ориентированы в одном направлении. Кварц нередко трещиноват, по трещинам развиваются гидроокислы железа, которые придают кварцу желтоватый оттенок. При микроскопическом изучении установлены зёрна неправильной, удлинённой формы с извилистыми, фьордовыми, зубчатыми границами, местами с входящими углами. Структура кварца гетеробластовая – размеры зёрен меняются от 1–10 мм до 2–3 см. Неравномерно-зернистый кварц в различной степени метаморфизован, следы динамометаморфизма

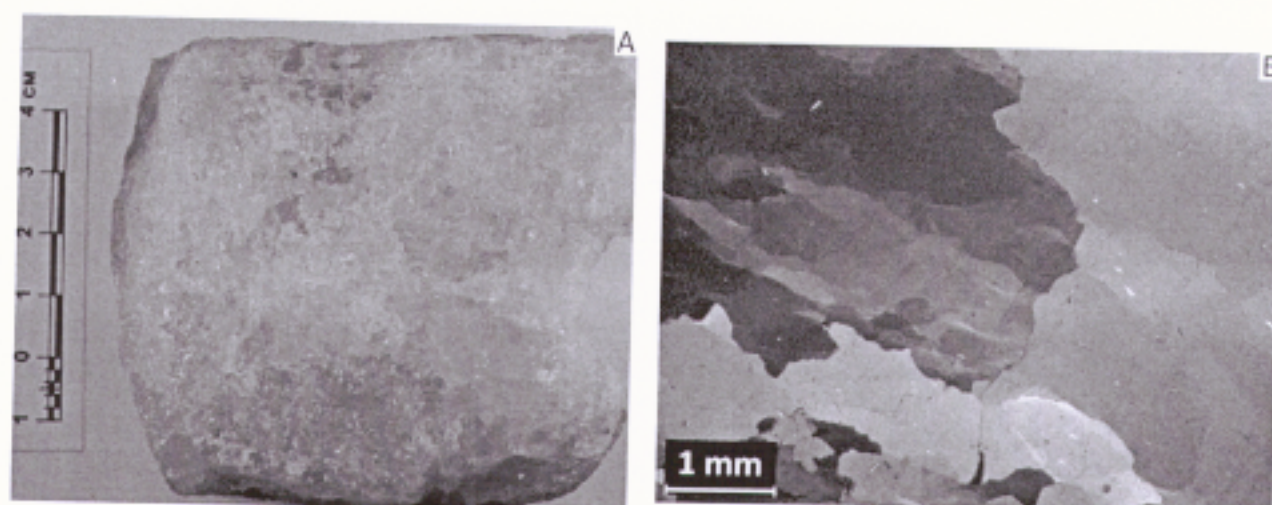


Рис. 2. Неравномерно-зернистый динамометаморфизованный кварц (А) и субструктуры метанеза в нём (Б)

запечатлены в субструктурах метагенеза, которые представлены многочисленными фаেলাми и пластинками деформации, полосками Бёма и деформационными изгибами (см. рис. 2, Б). Зёрна интенсивно блокованы. С увеличением степени деформации линейное блокование зёрен переходит в неравномерное, местами с разориентировкой блоков. Для таких участков характерно мозаичное погасание. Наблюдаются пояса деформации с начальной рекристаллизацией и образованием мелких изометричных зёрен размером 0,2–0,8 мм.

Жилы, сложенные гранулированным кварцем средне-мелкозернистой структуры, развиваются локально – в западной части Хайвергинского блока и в обрамлении Мало-Чипикетского купола (см. рис. 1). К северо-восточному обрамлению купола приурочено месторождение Мало-Чипикетское, представленное жилой 2821, с утверждёнными балансовыми запасами гранулированного кварца на плавку категории С<sub>2</sub>. Жила хорошо обнажена, прослеживается в коренных выходах на протяжении 150 м при средней мощности 3–4 м (рис. 3).

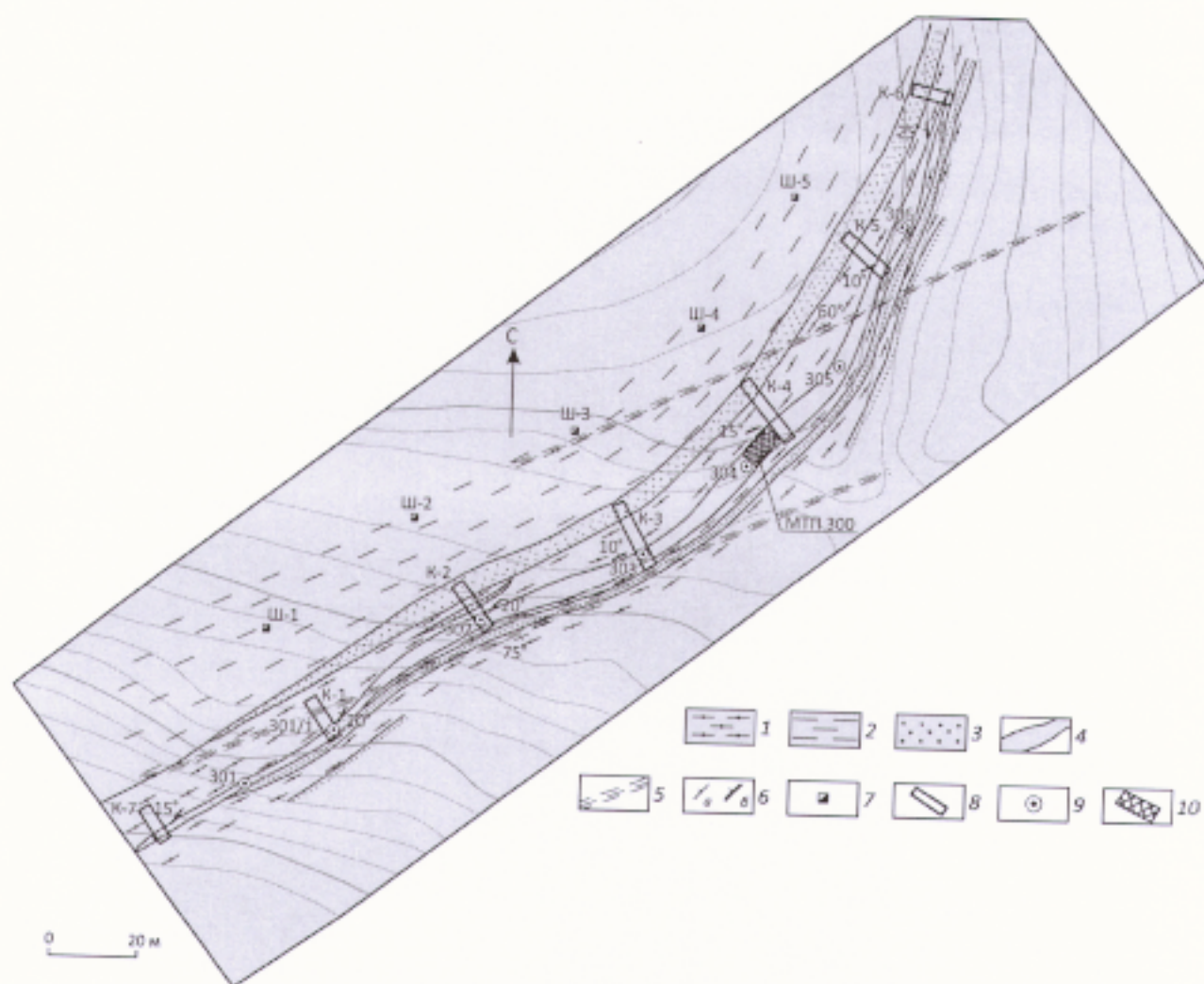


Рис. 3. Геологический план месторождения Жила 2821. Составлен с использованием материалов ЗАО «СВЗТО», 2001:

1 – гнейсы гранат-биотит-мусковитовые; 2 – плагиогнейсы двухfeldsparные; 3 – метапесчаники слюдиисто-кварцевые, разнозернистые; 4 – кварцевая жила; 5 – зоны тектонических нарушений и повышенной трещиноватости; 6 – элементы залегания: а – сланцеватости, трещиноватости, б – контактов; 7 – шурф и его номер; 8 – канава и её номер; 9 – место отбора ступенчатых проб и их номера; 10 – место отбора малой технологической пробы и её номер

КОПИЯ  
ВЕРНА

*[Handwritten signature]*



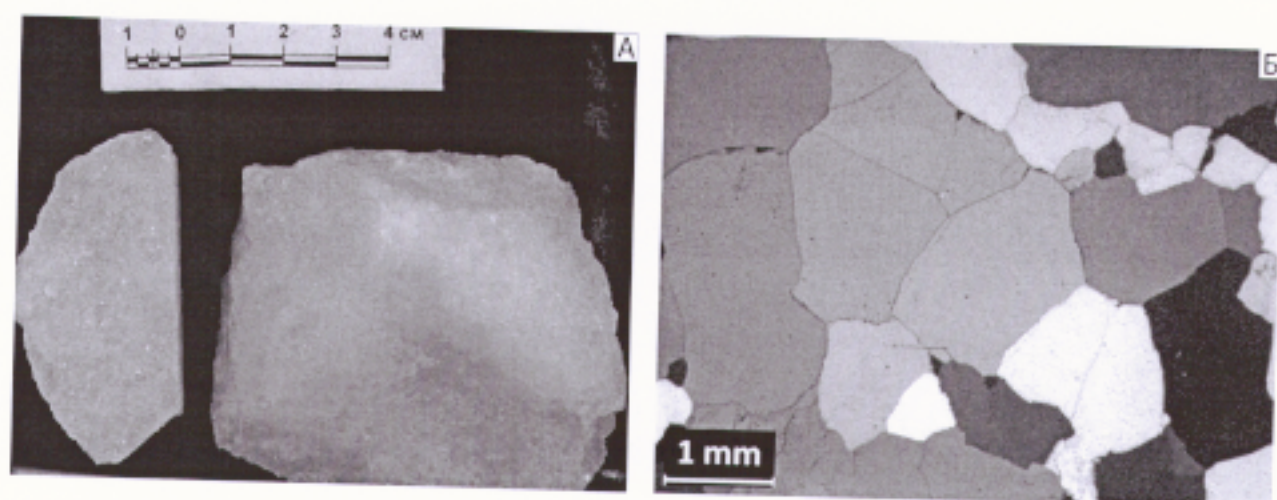


Рис. 4. Средне-мелкозернистый гранулированный кварц (А) гранобластовой структуры (Б)

Жила плитообразной формы, имеет зональное строение: в её эндоконтакте и около ксенолитов вмещающих пород выявлены зоны шириной до 0,5 м, сложенные дымчатым гранулированным кварцем, обогащённым минеральными примесями. Внутренняя зона практически мономинеральная, образована светло-серым гранулированным кварцем с прозрачными и полупрозрачными зёрнами близкой к изометричной формы размером 1–5 мм (рис. 4, А). Структура гранобластовая, равномерно-зернистая, текстура массивная, однородная. По данным оптической микроскопии, зёрна гранулированного кварца практически не содержат следов деформаций. В целом характерно однородное погасание зёрен, в редких случаях улавливается слабопроявленное волнистое погасание. Зёрна кварца имеют облик полигональной, изометричной и близкой к изометричной формы с ровными, округлыми контурами (см. рис. 4, Б).

Установлено, что жилы, сложенные гранулированным кварцем, локализуются преимущественно в породах бугарихтинского комплекса. Максимальная концентрация жил, сложенных неравномернозернистым динамометаморфизованным кварцем, выявлена в породах хайвергинского комплекса. В отдельных кварцевых жилах данные разновидности присутствуют одновременно.

Гигантозернистый первично кристаллический кварц ограниченно распространён, слагает маломощные жилы небольших размеров. Мощность жил в раздувах составляет 2–3 м, редко достигая 5 м, средняя длина по простиранию 10–15 м. Жильные зоны представлены сближенными кварцевыми телами. Макроскопически кварц выглядит как сливной с неясными очертаниями индивидов, сложен неоднородными по прозрачности

зёрнами (рис. 5, А). Замутнёность кварца неравномерная, обусловлена насыщенностью газовой-жидкими включениями, развивающимися по залеченным микротрещинам. Прозрачные участки расположены между трещинами и имеют разнообразную форму: неправильную, изометричную, вытянутую, прямоугольную, ромбовидную, линзовидную. В кварце развиты открытые и залеченные трещины разной конфигурации. Открытыми трещинами кварц разбит на блоки неправильной формы. По трещинам образуются корки и плёнки гидроокислов железа, отмечен серицит. Залеченные трещины представлены системой субпараллельных протяжённых зон, в которых концентрируются газовой-жидкие включения (см. рис. 5, Б). При микроскопическом изучении в кварце обнаружены факелы и пластинки деформации, полосы Бёма, линейное, реже неравномерное блокование. Субструктуры метабазиса, характерные для низких и средних ступеней пластических деформаций, свидетельствуют о том, что кварц не испытал заметного динамометаморфизма [5].

*Минеральные включения.* Исследование вещественного состава жильного кварца Мало-Чипикетской зоны позволило выявить до 20 примесных минералов: мусковит, гидроокислы железа, полевые шпаты, хлорит, биотит, фуксит, серицит, магнетит, ильменит, рутил, графит, пирит, турмалин, амфибол, сподумен, апатит, гематит, цеолит, гранат, эпидот. Наиболее распространёнными примесями всех типов кварца являются слюды, гидроокислы железа, хлорит, полевые шпаты и магнетит. Общее количество минералов-примесей варьирует от  $0,01\% \times 10^{-3}$  до  $905,9\% \times 10^{-3}$ , в среднем составляет  $109,3\% \times 10^{-3}$ . Высокие содержания минеральных примесей характерны для призабытых участков и зон выклинивания кварцевых жил.

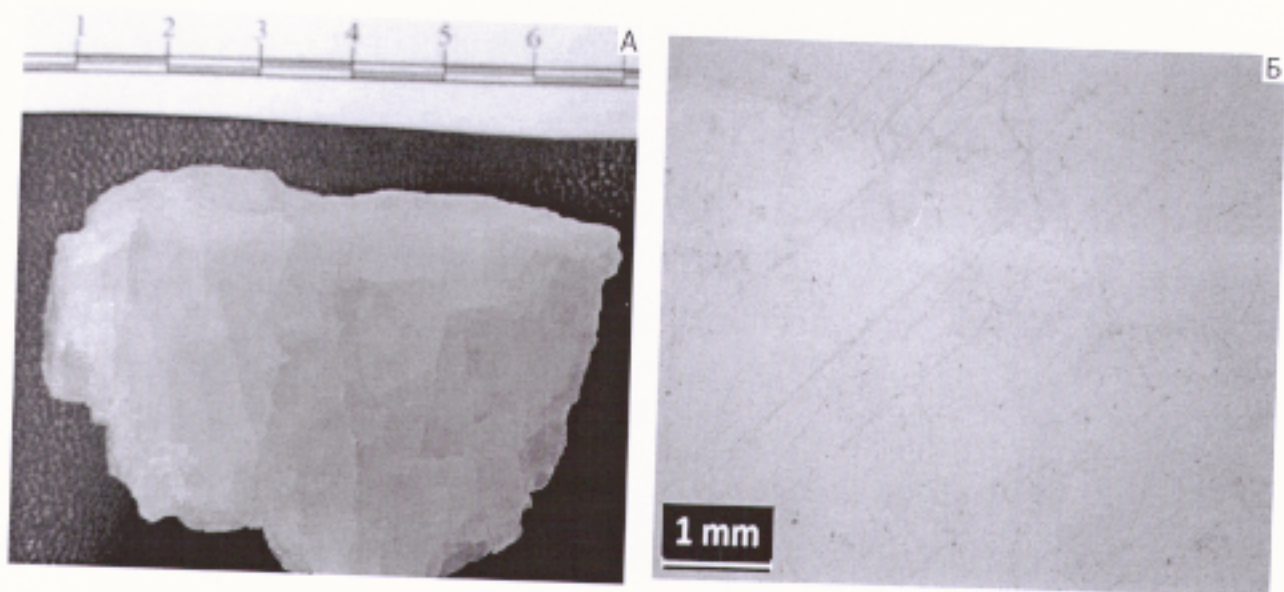


Рис. 5. Гигантозернистый первично-кристаллический кварц (А) с залеченными трещинами (Б)

Химические анализы монофракций слюд позволили классифицировать светлую слюду как мусковит с незначительным содержанием флогопит-аннитовой составляющей, а тёмную слюду как биотит с незначительной примесью титана и железистостью от 72,6 до 84,2%. Полевые шпаты отвечают составу альбит-олигоклаза с кристаллохимической формулой  $(\text{Na}_{3,79}\text{Ca}_{0,07})[\text{Al}_{10,16}\text{Si}_{2,56}\text{O}_4]$ .

Видовой набор минералов одинаковый для всех трёх разновидностей, за исключением обнаруженных только в гигантозернистом первично-кристаллическом кварце волосовидных вростков рутила. Гранулированный кварц характеризуется наименьшим содержанием минеральных включений, основная доля которых приходится на мусковит и хлорит, расположенные в межзерновом пространстве, и гидроокислы железа в виде плёнок и примазок. Другие минералы содержатся в единичных знаках и обнаружены в единичных пробах. Важнейшая особенность гранулированного кварца – отсутствие полевых шпатов в кварце центральных частей жил и в целом.

Минерализация неравномерно-зернистого динамометаморфизованного кварца значительно выше. В данном кварце в порядке убывания присутствуют мусковит, гидроокислы железа, полевой шпат, серицит и биотит, встречаются магнетит, пирит и графит. Основная масса минеральных примесей содержится в межзерновом пространстве и в трещинах, что позволяет предположить высокую обогатимость сырья, даже при повышенной минерализации. Локализация минеральных включений по периферии кварцевых зёрен или в трещинах

облегчает их вскрытие при дроблении, химической обработке проб (кислотное травление) и нагревании.

В гигантозернистом первично-кристаллическом кварце присутствуют многочисленные мелкодисперсные включения мусковита и серицита, мелкие включения биотита и тонкие волосовидные включения рутила внутри кварцевых зёрен. Включения мусковита и биотита, расположенные внутри кварцевых зёрен, являются трудноудаляемыми примесями. Наличие тонких игольчатых включений рутила резко снижает эффективность и затрудняет процесс обогащения, поскольку они практически не удалимы из кварца.

*Газово-жидкие включения.* Степень насыщенности кварца газово-жидкими включениями – один из наиболее значимых типоморфных признаков. Для относительной оценки количества газово-жидких включений в кварце используется метод определения коэффициента светопропускания (Т, %). Коэффициент светопропускания регламентируется техническими условиями (ТУ) на определённые виды кварцевых продуктов и позволяет предварительно разбраковывать кварцевое сырьё по возможным сферам его использования.

По показателю светопропускания выделенные природные типы кварца довольно чётко отличаются друг от друга. Средне-мелкозернистый гранулированный кварц обладает стабильно высоким коэффициентом светопропускания – 69,2–82%. Коэффициент светопропускания неравномерно-зернистого динамометаморфизованного кварца составляет 53,7–80,8%. Для гигантозернистого первично-кристаллического кварца характерен наиболее широкий диапазон значений коэффициента

КОПИЯ  
ВЕРНА

*Handwritten signature*



светопропускания – от 35,3 до 80,2%, что обусловлено наличием высокопрозрачных стекловидных и замутнённых молочно-белых участков в пределах одного образца. Следует также отметить, что данный показатель после глубокого обогащения в среднем может увеличиваться на 10%.

Состав газовой-жидких включений был установлен хроматографическим анализом. Согласно полученным данным, включения имеют углекислотно-водный состав. Значительных отличий в составе флюидных включений различных природных типов кварца не обнаружено, что свидетельствует о единой минералообразующей системе. Общее количество газов, выделившихся при нагреве кварцевого порошка в корундовом тигле со скоростью 10°C/мин., было зафиксировано в интервалах 100°–600°C и 600°–1000°C. Наиболее интенсивное газоотделение во всех изученных пробах зарегистрировано в интервале 100°–600°C. Очевидно, что в этом температурном интервале происходит растрескивание большей части газовой-жидких включений. В интервале температур 100°–600°C общее содержание газов составляет 35,97–120,82 мкг/г, из них на долю H<sub>2</sub>O приходится 35,5–120,2 мкг/г (90,3–99,8%). Содержание CO<sub>2</sub> не превышает 2,2 мкг/г (7,7%). Также отмечается незначительное количество CO и CH<sub>4</sub>.

В высокотемпературной области газовой-выделение резко сокращается. Здесь, вероятно, происходит вскрытие оставшихся мельчайших газовой-жидких включений и, возможно, удаление структурно связанной воды. Общее количество выделенных газов снижается до 12,7–35,1 мкг/г. При этом уменьшается доля H<sub>2</sub>O в составе газов (89,3–97,7%) и увеличивается доля CO до 1,2 мкг/г, что соответствует 6,8% от общего количества газов. Выделение CO<sub>2</sub> в высокотемпературном и низкотемпературном интервалах меняется незначительно.

В низкотемпературном интервале максимальное содержание выделившихся газов наблюдается в гигантозернистом первично кристаллическом кварце. В неравномернозернистом динамометаморфизованном кварце газовой-выделение значительно ниже. Минимальное газовой-выделение зафиксировано в средне-мелкозернистом гранулированном кварце. В высокотемпературном интервале граница между выделенными типами стано-

вится менее заметной. Это связано с тем, что в гигантозернистом кварце присутствует большое количество крупных включений, которые достаточно легко удаляются при нагревании, тогда как мельчайшие газовые включения, диагностируемые оптико-микроскопическими исследованиями во всех типах кварца, вскрываются только при больших перегревах.

*Структурные примеси.* Содержание структурных примесей в кварце объективно отражает особенности его генезиса и может быть использовано в качестве критерия прогнозирования и оценки объектов, особенно на ранних стадиях геологоразведочных работ [9]. Концентрация структурных примесей позволяет оценить предельную чистоту сырья, которой можно добиться после его обогащения, так как очистка кварца от структурных примесей при современных методах обогащения не представляется возможной.

В качестве структурных примесей, входящих в кристаллическую решётку кварца, установлены Al, Ti, Ge, Fe, Li, Na, H [6, 13]. Алюминий признан наиболее способным замещать кремний элементом в тетраэдрических позициях силикатов, включая кварц: Al<sup>3+</sup> замещает Si<sup>4+</sup>, при этом процесс сопровождается захватом положительных катионов H<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Fe<sup>2+</sup> и др., компенсирующих заряд [13].

Исследования структурных примесей в кварце методом ЭПР-спектроскопии показали, что минимальные концентрации данного центра характерны для средне-мелкозернистого гранулированного кварца. Считается, что в процессе грануляции в условиях повышенных давлений происходит очищение кварца от элементов-примесей, в том числе и от структурных, а также исчезают все существенные дефекты кристаллов, обуславливающие повышенную энергию индивидуальных [4, 9]. Помимо Al-O-центров в изученных типах кварца обнаружены Ge- и Ti-центры (табл. 1).

*Химические элементы-примеси.* Содержание химических элементов-примесей в кварце является характеристикой, определяющей качество сырья. Суммарное содержание примесей, а также содержание отдельно взятых элементов строго регламентируются действующими техническими условиями (ТУ) на различные виды кварцевой продукции.

1. Концентрация парамагнитных центров в различных типах кварца

Тип кварца (число анализов)	[Al-O], $\text{cm}^2/\text{r} \times 10^{21}$	(Ge <sup>2+</sup> /Li), $\text{cm}^2/\text{r} \times 10^{21}$	(Ti <sup>2+</sup> /Li), $\text{cm}^2/\text{r} \times 10^{21}$
Неравномерно-зернистый метаморфизованный (n=9)	83,2–116,1	19,1–40	5,7–10,2
	101,2	28,6	7,4
Средне-мелкозернистый гранулированный (n=6)	61,8–94	18,9–33,2	5,3–11,9
	80,8	27,6	8,2

*Примечание.* Анализы сделаны в лаборатории АТСИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» (аналитик Э.Р.Гимадиев); в числителе указаны минимальное и максимальное значения концентрации парамагнитных центров, в знаменателе – среднее.



## 2. Среднее содержание элементов-примесей в природном кварце Мало-Чиликетской зоны

Тип кварца (число анализов)	Среднее содержание элементов-примесей, ppm															
	Al	Ti	Ca	Mg	Cu	Cr	Ni	Co	Mn	Na	K	Li	P	Fe	B	$\Sigma_{\text{и}}$
Неравномерно-зернистый метаморфизованный (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

*Примечание.* Определение элементов-примесей производилось методом атомной эмиссии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в лаборатории АТСИЦ ФГУП «ЦНИИгеолтерруд»; аналитики: О.В. Вишнева, М.Ш. Дрешер, Р.Р. Гильмутдинов.

Основными примесями жильного кварца Мало-Чиликетской зоны являются Al, Fe, Na, K, Li, Ca, P и Ti (табл. 2). Повышенная концентрация Fe связана в основном с приповерхностным ожелезнением, Li присутствует преимущественно в структурной форме, Al и Ti частично входят в структуру кварца, остальные элементы обнаруживают прямую зависимость от содержания минеральных включений.

Содержание радиоактивных элементов (U и Th) в кварце колеблется в диапазоне от 0,002 до 4,581 ppm.

В целом среди выделенных типов наиболее чистым природным сырьём является гранулированный средне-мелкозернистый кварц, сумма элементов-примесей в небогатых пробах отдельных жил, сложенных кварцем данного типа, не превышает 25–30 ppm, что соответствует требованиям действующих ТУ на различные виды кварцевой продукции. Самые высокие концентрации элементов-примесей характерны для гигантозернистого первично-кристаллического кварца.

При сравнении кварцевого сырья МЧКЗ с сырьём наиболее изученных кварцевых районов Российской Федерации с выявленными промышленными типами кварцевого сырья необходимо отметить следующее.

Промышленными типами кварцевого сырья в настоящее время являются гранулированный и прозрачный (стекловидный) кварц [10]. Эталонными объектами гранулированного кварца являются кварцево-жильные образования Уфалейского кварцевого района Среднего Урала [3, 8, 11 и др.]. В пределах месторождений района выделены 4 основных типа гранулированного кварца: «кыштымский», «уфалейский», «слоняногорский» и «егустинский» [1, 11].

По структурно-текстурным особенностям и коэффициенту светопропускания гранулированный кварц МЧКЗ наиболее близок к «кыштымскому» типу, который представляет собой агрегат средне-крупнозернистого однородно гранулированного кварца. Образование кварца «кыштымского» типа происходило под воздействием процессов поздней коллизии из крупно-

гигантозернистого ранее образованного кварца, жилы которого локализуются на площади позднепалеозойского эклогит-сланцевого мегамеланжа, слагающего основной объём куртинской тектонической пластины. Жилы встречаются в виде кулис, согласно залегающих среди барических бластомилонитов, в составе которых отмечены дистен, парагонит, фенгит, цоизит [2]. Жилы гранулированного кварца «кыштымского» типа локализуются в породах высокобарического куртинского комплекса, отличаются повышенным содержанием минеральных примесей. Гранулированный кварц Мало-Чиликетской кварцевой зоны характеризуется относительно высокой химической чистотой, высоким светопропусканием. Жилонесущие породы представлены кварцито-гнейсовыми породами. Поэтому гранулированный кварц изученного района не может быть отнесён к «кыштымскому» рудно-формационному типу, и авторами предлагается выделить его в самостоятельный «патомский» тип.

Формация крупнозернистого «стекловидного» кварца представлена на объектах Приполярно-Уральского кварцевого района. На Приполярном Урале распространены жилы, залегающие согласно со сланцеватостью и сложенные крупно-гигантозернистым полупрозрачным и прозрачным кварцем с низким содержанием минеральных примесей, достаточно высокой химической чистоты с коэффициентом светопропускания 72–86% («неройский» тип). Вмещающие породы представлены сланцами, кварцитами, карбонатными породами. Характерно присутствие даек основного состава, выполняющих роль жёстких пород. Неравномерно-зернистый динамометаморфизованный кварц МЧКЗ близок по ряду признаков к «неройскому» типу, но отличается от него по геологическим особенностям нахождения, принадлежностью к кварцево-хрусталиковой формации.

В заключение следует отметить, что изучение типоморфных признаков жильного кварца Мало-Чиликетской кварцевой зоны позволило выделить по комплексу признаков три природных типа кварца

КОПИЯ  
ВЕРНА

*Handwritten signature*



различающихся по минералого-геохимическим и физическим признакам. В качестве перспективных выделены жилы, сложенные гранулированным и неравномерно-зернистым динамометаморфизованным кварцем.

Гранулированный кварц характеризуется высоким светопропусканием, повышенной химической чистотой. Локализация минеральных включений в межзерновом пространстве и в трещинах обеспечивает высокую обогатимость этого типа кварца и позволяет рассматривать его как сырьё для получения высокочистых кварцевых концентратов. Неравномерно-зернистый динамометаморфизованный кварц обладает пониженным светопропусканием и повышенной минерализацией, что затрудняет получение высокочистых концентратов. Этот природный тип кварцевого сырья потенциально пригоден для производства рядового кварцевого стекла. Гигантозернистый первично-кристаллический кварц является труднообогатимым сырьём из-за высокого содержания газовой-жидких включений, наличия тонкодисперсных включений мусковита, биотита и волосовидных включений рутила. Химически чистые разновидности гигантозернистого кварца могут быть использованы в качестве шихты для синтеза искусственных кристаллов кварца.

Содержание элементов U и Th сопоставлялось с требованиями к ультрачистым микропорошкам для специальных сфер назначения, в которых содержание этих элементов в сумме не должно превышать 1 ppb. Содержание U и Th в подрешётном продукте фракции ~0,1 мм изученных проб превышает норматив в несколько раз, что не позволяет использовать его в качестве высокочистых порошков спецназначения.

Выделенные перспективные типы кварцевого сырья, различающиеся структурно-текстурными особенностями, минеральным и химическим составом, показателем светопропускания, приуроченностью к различным структурно-вещественным комплексам, могут быть отнесены к двум рудным формациям – кварцито-гнейсовой гранулированного кварца и сланцевой неравномерно-зернистого динамометаморфизованного кварца. Гранулированный кварц со светопропусканием выше 80% может быть использован в высоких технологиях и микроэлектронике, а неравномерно-зернистый динамометаморфизованный кварц – в светотехнических отраслях промышленности.

На основе полученных результатов изучения типоморфных признаков кварца были выделены и охарактеризованы перспективные участки кварцевых жил для оценки прогнозных ресурсов двух рудно-формационных типов (см. рис. 1).

Результаты изучения типоморфных признаков кварца на ранних этапах изучения кварценозных площадей значительно повышают информативность геологи-

ческих исследований и способствуют решению ряда практических геологических задач, связанных с выделением перспективных участков (потенциальных месторождений), прогнозированием качества сырья и выбором технологических схем его обогащения.

*Работа выполнена в рамках Государственного контракта ФГУП «ЦНИИгеоинтеруд» в содружестве с ОАО «Кыштымский ГОК» и АО «Иркутскгеофизика».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белковский А.И.* Генетические типы жильного кварца элювит-сланцевых комплексов (на примере Урала и Северного Казахстана) // Тектоника, магматизм, метаморфизм и металлогения зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1976.
2. *Белковский А.И.* Геология и минералогия кварцевых жил Кыштымского месторождения (Средний Урал). – Миасс: ИМин УРО РАН, 2011.
3. *Вертуиков Г.Н., Борисков Ф.Ф., Емлин Э.Ф.* Жильный кварц восточного склона Урала / Труды СГИ. Вып. 66. – Свердловск, 1969.
4. *Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якимов В.И.* Жильный кварц Урала в науке и технике. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1988.
5. *Кораго А.А., Козлов А.В.* Текстуры и структуры жильного кварца хрусталеносных областей. – Л.: Недра, 1988.
6. *Кочур Д.Г., Вяткин С.В., Федюченко С.В.* Оценка концентраций структурных примесей в кварце методом ЭИР // Мат-лы Всероссийского совещания (24–27 мая 2011 г.). – Миасс–Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 90–93.
7. *Малышев А.Г.* Особенности формирования кварцевых жил в Патомском нагорье / Докл. АН СССР. 1987. Т. 292. № 2. С. 430–432.
8. *Мельников Е.П.* Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. – М.: Недра, 1988.
9. *Минералогия шовных зон Урала* / В.А.Коротеев, В.Н.Огородников, В.Н.Сазонов, Ю.А.Поленов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010.
10. *Перспективы использования кварцевого сырья России в высоких технологиях* / Е.М.Аксенов, Н.Г.Быдтаева, Ю.И.Бурьян и др. // Разведка и охрана недр. 2015. № 9. С. 57–66.
11. *Поленов Ю.А.* Эндеогенные кварцево-жильные образования Урала. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2008.
12. *Предварительная оценка качества кварцевого сырья Урала и Восточного Саяна по комплексу типоморфных признаков кварца* / Н.Г.Быдтаева, Н.Н.Борозниновская, Т.Г.Быдтаева, И.М.Милеева // Кварц и кремнезем. Мат-лы международного семинара. – Сыктывкар, 2004. С. 205–206.
13. *Раков Л.Т.* Общие закономерности образования структурных дефектов в кварце // Геохимия. 2005. № 11. С. 1196–1207.

КОПИЯ  
ВЕРНА

*Handwritten signature*

