

УДК 553.576 (470.2)

КВАРЦЕВОЕ СЫРЬЕ КАРЕЛО-КОЛЬСКОГО РЕГИОНА: ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В. В. Щипцов, Т. П. Бубнова, Е. Н. Светова, Л. С. Скамницкая

Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

В статье обращено внимание на то, что кристаллическая решетка кварца допускает весьма ограниченный изоморфизм, большинство элементов, отмечаемых в кварце (Na, K, Ca, Mg, Ba, Sr, Rb, REE, Mn, U, Th), имеют связь с флюидными и микроминеральными включениями. Кварц рассматривается как промышленный минерал с главным акцентом на его использование в качестве высокочистого кварца. Приведена схема применения кварца и продуктов его технологического передела в промышленности. Охарактеризованы в исторической последовательности этапы исследований кварцевого сырья Карело-Кольской кварцевой провинции и показана промышленная значимость различных генетических типов месторождений кварца (жильный, пегматитовый, силекситовый, высокочистые кварциты, мусковитовые и кианитовые кварциты, кварцевые конгломераты, силициты). Даны комплексные характеристики основных месторождений кварцевого сырья на текущий момент (Перчатка, Фенькина-Лампи, Меломайс и Степаново озеро). Показана роль исследований Института геологии КарНЦ РАН в получении результатов, позволяющих определять новые подходы к оценке кварцевого сырья Карело-Кольского региона. Благодаря работе сотрудников ИГ КарНЦ РАН совместно с коллегами из других организаций страны (ВИМС, ИГЕМ РАН, ИГ Коми НЦ УрО РАН, ГИ КНЦ РАН, ЦНИИГеолнеруд, Центркварц) внесен значительный научный вклад в оценку кварцевого сырья Карело-Кольской кварценозной провинции России на современном уровне. Предлагаемые решения опробованы на примере способов оценки качества исходного сырья и технологии обогащения на материале природного кварца объектов Перчатка, Меломайс, Рухнаволок и др.

Ключевые слова: кварцевое сырье; Карело-Кольская провинция; высокочистый кварц; качество кварца; технология обогащения; прогнозирование.

V. V. Shchiptsov, T. P. Bubnova, E. N. Svetova, L. S. Skamnitskaya. QUARTZ RAW MATERIALS OF THE KARELIAN-KOLA REGION: MAJOR RESEARCH RESULTS

The article draws attention to the fact that the crystal lattice of quartz allows for very little isomorphism, most elements encountered in quartz (Na, K, Ca, Mg, Ba, Sr, Rb, REE, Mn, U, Th) are associated with fluid and micromineral inclusions. Quartz is regarded as an industrial mineral with the main focus on its use as high-purity quartz. The scheme of the industrial application of quartz and the products of its technological processing is provided. The chronological sequence of stages in research on quartz raw materials in the Karelian-Kola quartz province is described, and the industrial significance of various genetic types of quartz deposits (vein, pegmatite, silixite, high-purity quartzites, muscovite and kyanite quartzites, quartz conglomerates, silicites) is demonstrated. The various characteris-

tics of the main deposits of quartz raw materials at present (Perchatka, Fen'kina-Lampi, Melomais, and Stepanovo Ozero) are reported. The role of the Institute of Geology KarRC RAS in producing recent results allowing new approaches to the assessment of quartz raw material in the Karelian-Kola region to be designed is highlighted. The work of IG KarRC RAS staff in collaboration with other organizations in the country (VIMS, IGEM RAS, IG Komi SC Ural Branch RAS, GI KSC RAS, TsNIIgeolnerud, Tsentrkvarz) has contributed significantly to the science-based assessment of quartz raw material in the Karelian-Kola quartziferous province of Russia. The proposed solutions have been tested in application to the methods for evaluating the quality of raw materials and enrichment technology using natural quartz from Perchatka, Melomais, Rukhnavolok, etc.

Key words: quartz raw material; Karelian-Kola Province; high-purity quartz; quality, enrichment technology; forecasting.

Общие сведения о высокочистом кварце и областях его использования

Кварцевое сырье (высокочистое кварцевое сырье (ВЧК), high purity quartz) является одним из важнейших стратегических видов минеральных продуктов. На высокочистые кварцевые концентраты отмечается постоянно увеличивающийся спрос на мировом рынке. Кристаллическая решетка кварца допускает весьма ограниченный изоморфизм, вследствие чего содержание структурных примесей в кварце обычно невелико. К основным структурным примесям относятся Al^{3+} , Ga^{3+} , Fe^{3+} , Ge^{4+} , Ti^{4+} , P^{5+} [Weil, 1984, 1993], при этом содержание Al с близким к Si радиусом может достигать 1000 ppm. Ti и Fe могут быть ионами замещения или входить в состав минеральных микровключений, таких как рутил и окислы железа. Другие катионы H^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ , Cu^+ и Ag^+ отмечаются в интерстициях как ионы-компенсаторы. Большинство элементов, отмечаемых в кварце (Na, K, Ca, Mg, Ba, Sr, Rb, REE, Mn, U, Th), связаны с флюидными и микроминеральными включениями, что необходимо принимать во внимание в процессах глубокого обогащения.

Микроэлементы важны при определении обстановки зарождения кварца, выбора путей очистки кварца и направлений использования в промышленности. Наиболее низкие содержания микроэлементов характерны для низкотемпературного (480–530 °C) кварца [Blankenburg et al., 1994]. К ВЧК, используемому в высоких технологиях, в мировой практике относят продукт с содержанием SiO_2 более 99,997 % (примеси составляют менее 30 ppm).

Новым крупномасштабным рынком потребления ВЧК становится рынок производства «солнечного» кремния – кремния для производства солнечных батарей. Кроме рынка кварцевых концентратов широко развит рынок кварцевых порошков. Основное применение

кварцевых порошков – это производство эпоксидной пресс-массы для изготовления интегральных микросхем (70 %), огнеупоры (15 %) и точное литье (15 %) [The economics..., 1992; Quartz..., 2012; Flook, 2013]. Основные области применения кварца и продуктов его технологического передела приведены на рис. 1.

На современном этапе рынок ВЧК практически монополизирован компанией Unimin – ее доля составляет 80 %. Вторым по значимости игроком на данном рынке является норвежско-американская корпорация The Quartz Corporation Norway-USA – 8 %. Определенную роль в конкуренции производства ВЧК играют такие страны, как Бразилия и Мадагаскар, поставляющие на рынок природный чистый кусковой кварц. В конце 2011 г. норвежская компания Norwagian Crystals и американская Imerys (владелец права на кварцевое месторождение в Северной Каролине) объединились в кварцевую корпорацию (TQC). Китайские и российские производители выпускают соответственно 7 и 5 % ВЧК [Quartz..., 2012].

Карело-Кольская кварценозная провинция

В СССР интерес к кварцевому сырью был весьма многосторонний и широкий. Карело-Кольская провинция является одной из перспективных территорий РФ на ВЧК. В ее пределах выявлены площади развития кварцевых жил, пегматитов, силекситов, высокочистых кварцитов, мусковитовых и кианитовых кварцитов, кварцевых конгломератов, силицитов (рис. 2). Исторически перспективность Карело-Кольской кварценозной провинции определялась исключительно промышленной значимостью пегматитового кварца Енско-Чупинской кварценозной области, геодинамически связанной с Беломорским подвижным поясом. Выводы тех лет проистекали из результатов

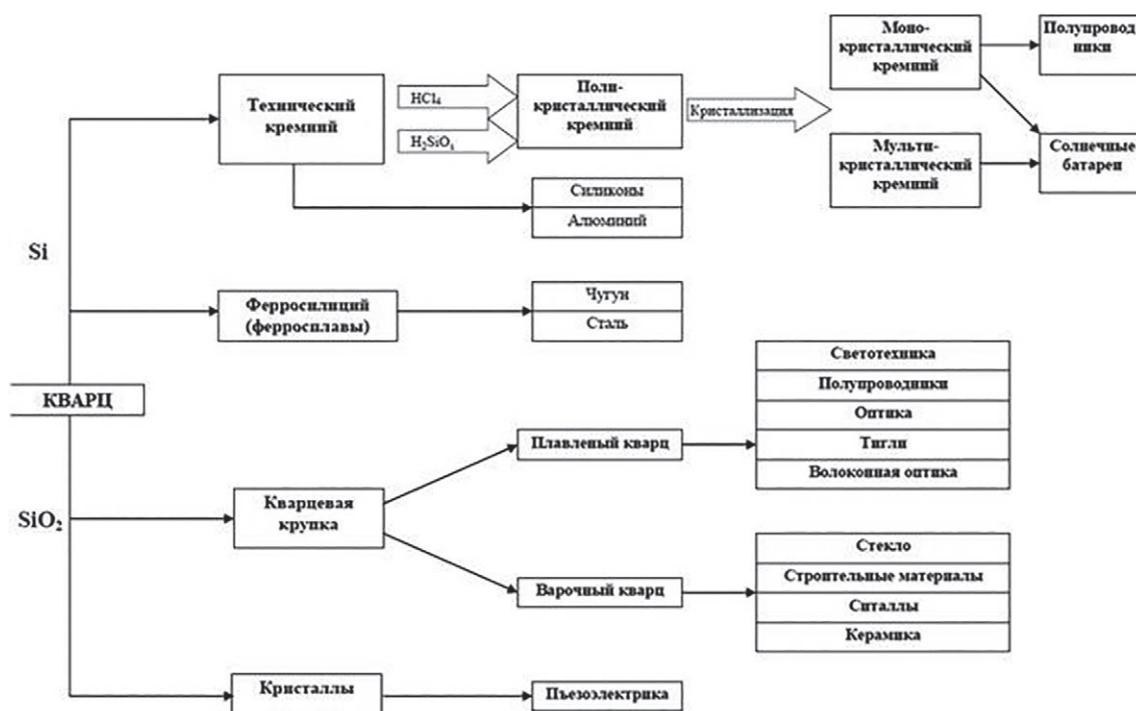


Рис. 1. Схема применения кварца и продуктов его технологического передела в промышленности [Щипцов, 2019]

Fig. 1. Scheme of application of quartz and products of its technological conversion in industry [Shchiptsov, 2019]

геолого-поисковых и разведочных работ, полученных в разное время в Карело-Кольском регионе.

Среди геолого-производственных работ, проводившихся на территории Мурманской области, необходимо выделить исследования А. П. Вушанова, Н. Г. Добрыниной, М. А. Цибульчика – кварциты Рижгубы (1961 г.); В. М. Глазунова с коллегами – кварцевые жилы Малых Кейв (1987 г.); С. В. Жабина и А. М. Гершенкопа с коллегами – мелко-размерный мусковит из пегматитовых отвалов рудника Риколатва (1996–1997 гг.); Н. В. Казакова, Н. П. Костелова, М. М. Калинкина, Ю. А. Шатнова – высокочистое кварцевое сырье Кейвского кварценосного узла (1993–1996, 1998–2001 гг.); В. А. Смирновой (1993 г.), Н. Я. Юркова – Енское кварцево-жильное поле (2001–2003 гг.).

Обобщенные результаты работ на кварцевые ресурсы Мурманской области приводятся в определенных источниках [Липовский, 1991; Данилевская, 2012а, б, в и др.]. К предварительному итогу поисковых и поисково-оценочных работ на Кейвской площади относится выделение четырех кварцевых полей жильного типа – Семиостровское, Выхчуртское, Червуртское и Боллоуртинское, три из которых, исклю-

чая Выхчуртское, отнесены к перспективным на высококачественный жильный кварц. Кроме кварцевых жил в границах Кейвского домена распространены кварцсодержащие породы метаморфогенно-метасоматического генезиса, которые могут представлять интерес в качестве нетрадиционных источников кварцевого сырья. К ним относятся мусковитовые кварциты, залегающие в Центральных и Западных Кейвах, с содержанием кварца 85–90 %, а также измененные под воздействием метасоматических процессов кианитовые сланцы с голубым кианитом. По форме они представлены вытянутыми линзами, содержащими кварц до 70 % на контактах кварцитов и гранат-ставролитовых сланцев. В 2015 г. ОАО «Северкварц-самоцветы» завершило поисково-оценочные работы на ВЧК на Червуртском рудном поле. Ресурсы на объекте оценены как значительные. Предварительно оцененные запасы ВЧК Червуртского месторождения поставлены на государственный баланс.

Разработка кварцитов Рижгубского месторождения проводилась с 1938 года. Пластообразные залежи до четырех с половиной километров по протяженности при мощности около 15 метров согласно залегают в хлорит-кварцевых, серицит-кварцевых сланцах и кристалли-

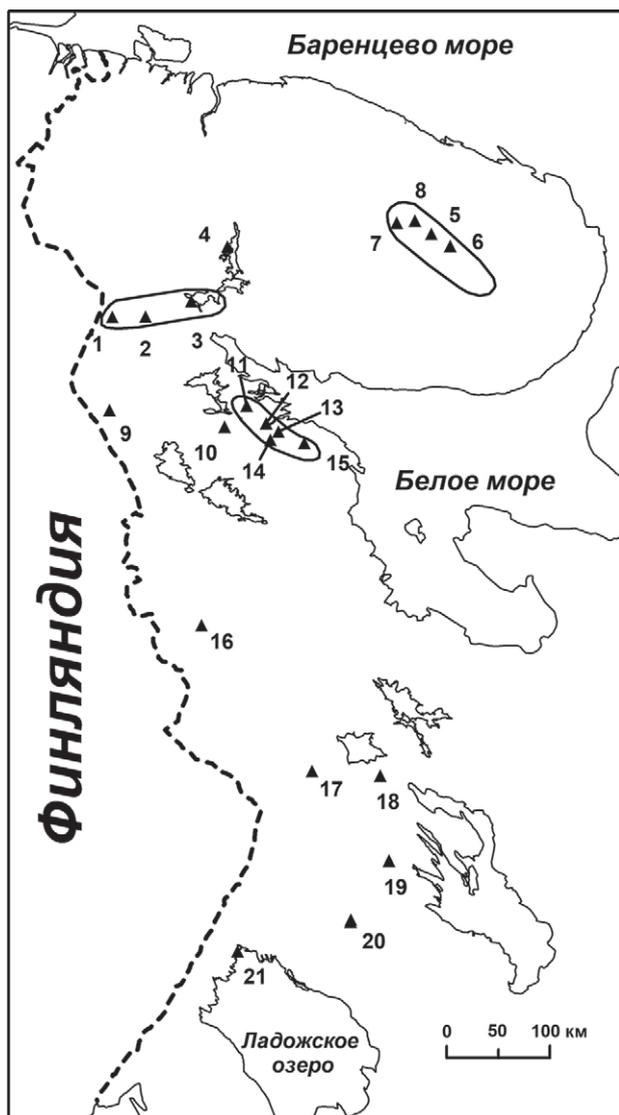


Рис. 2. Схема размещения месторождений и крупных проявлений кварцевого сырья Карело-Кольского региона.

Енский пояс кварцевого сырья: 1 – Перчатка, 2 – Ена, 3 – Риколатва. 4 – Рижгуба. Кейвский кварцевый пояс: 5 – Червурта, 6 – Боллоуртинское, 7 – Песцовая Кейва, 8 – Тяпыш-Манюк. 9 – Майское. 10 – Степаново озеро. Чупинский кварцевый пояс: 11 – Тэдино, 12 – Малиновая Варакка, 13 – Плотина, 14 – Слюдозеро, 15 – Никонова Варакка. 16 – Меломайс. 17 – Метчангъярви. 18 – Фенькина-Лампи. 19 – Гирвас. 20 – Улялегская группа (Кюръяла, Брусничное, Большое). 21 – Соролонсаари

Fig. 2. Allocation scheme of deposits and large occurrences of quartz raw materials in the Karelo-Kola region.

Ensky quartz raw material belt: 1 – Perchatka, 2 – Ena, 3 – Rikolatva. 4 – Rizhguba. Keivy quartz belt: 5 – Chervurta, 6 – Bollourtinskoe, 7 – Pestsovaya Keiva, 8 – Tyapush-Manyuk. 9 – Maiskoe. 10 – Stepanovo Ozero. Chupinsky quartz belt: 11 – Tedino, 12 – Malinovaya Varakka, 13 – Plotina, 14 – Slyudozero, 15 – Nikonova Varakka. 16 – Melomais. 17 – Metchangyarvi. 18 – Fenkina-Lampi. 19 – Girvas. 20 – Ulyalegskaya group (Kyuryala, Brusnichnoe, Bolshoe). 21 – Sorolansaari

ческих известняках имандра-варзугской серии палеопротерозоя.

Кварцевая минерализация в Енском блоке связана с мономинеральными кварцевыми и пегматитовыми (слюдоносными и керамическими) жилами. На сегодня фаворитным в этом кварцево-жильном поле является месторождение прозрачного жильного кварца Перчатка. В 1989–1992 гг. проведена разведка западного фланга данного месторождения, подсчитаны запасы жильного кварца по этому флангу. В тот же самый период осуществлялась опытно-промышленная разработка карьерным способом для саранского ПО «Лисма». Кварц отвечал требованиям 3-го сорта для плавки прозрачного стекла по ТУ 1982 г. В 2001–2003 гг. проведены дополнительные поисково-оценочные работы в пределах Енского кварцево-жильного поля с целью выделения участков с высокой концентрацией ВЧК жил, а также оконтуриванием жильных зон и отдельных кварцевых жил. Оценочные работы охватывали и юго-восточный фланг месторождения Перчатка.

Кварцеметрическая съемка также проводилась на участках «Нора», в 7 км к юго-востоку от поселка Слюда, «Кайта», расположенном в 50 км к западу от г. Кандалакши, и на отдельной площади в 45 км к северо-востоку от поселка Алакуртти. В результате работ выявлена повышенная кварценосность в юго-западном борту Енской зоны.

В пределах Енского района расположено одно из крупных месторождений мусковита Риколатва. В 2001 г. в результате технологических исследований кварца Риколатвинского месторождения отработана схема обогащения с получением концентрата, соответствующего сортам КГО и КПО-2 по разным пробам по ТУ 1997 г. Добыча кварца из отвалов при комплексной переработке на мелкогабаритный мусковит, полевой шпат значительно повышает ценность этих техногенных отложений и рентабельность их разработки.

В послевоенный период в Карелии геологоразведочные работы на кварцевое сырье проводились периодически различными геологическими организациями Мингео СССР, РСФСР и МПСМ СССР, в том числе Северной экспедицией ПГО «Севзапгеология» и ГОКом «Карелслюда». Здесь необходимо выделить значимые геологические производственные работы прошедших лет. Изучение (под руководством В. И. Сергеева, 1948–1950 гг.) пегматитов и жильного кварца на предмет нахождения кристаллов мориона и горного хрусталя в гранитах Питкяранты и гранит-рапакиви Улялегского массива, пригодных на пьезокварц (как и на Терском берегу Белого моря, промышленный пьезокварц обнаружен не был).

Ленгеолнерудтрест МПСМ СССР (В. Л. Васютович, Л. М. Дробышевская, Б. И. Ревнов и др., 1950-е годы) впервые провел ревизионно-оценочные работы на кварцевое сырье по 139 пегматитовым жилам Северной Карелии с целью выявления сырьевой базы для производства высококачественного оптического стекла. Г. Н. Николаевский и З. А. Зиновьева выполняли поисково-разведочные работы с целью выявления высококремнистых пород, пригодных для получения в основном карбида кремния на участке Фенькина-Лампи в Медвежьегорском районе (1963 г.). Государственный научно-исследовательский институт кварцевого стекла (ГОСНИИКС) проводил поисковые работы с целью оценки возможности использования молочно-белого кварца месторождений Малиновская Варакка и Карельский для производства прозрачного кварцевого стекла (1966–1968 гг.). ПО «Северкварцсамоцветы» выполнило поисково-оценочные работы на жильный кварц на Чупинском пегматитовом поле для плавки прозрачного кварцевого стекла и варки оптического стекла (1976–1977 гг.), а также разведку кварцитов ятулийского надгоризонта, в которых были открыты месторождения высокочистых кварцитов Метчангъярви 1 и 2, Нестеро-

ва Гора, Боконвара, Шалговара (Д. В. Задков и др., 1983–1991 гг.). В. С. Родионов, А. М. Кокконен, А. И. Кравченко, А. А. Ярмак, А. В. Абрамов, Ю. М. Салтыков и др. (Северная ПРЭ, ГосНИИКС, ВНИИСИМС, ГОК «Карелслюда», лаборатории Центрально-Уральской ГРЭ, МГРИ, Гусевский завод им. Дзержинского, Южно-Уральский завод «Кристалл» и ПО «Рубин») провели комплекс исследований кварца Чупы на пригодность для плавки кварцевого стекла, синтеза искусственного кварца и варки многокомпонентного стекла (1985–1990 гг.) с подсчетом запасов, утвержденных ГКЗ СССР (табл. 1) [Салтыков и др., 1990].

В то время был поставлен вопрос о строительстве опытно-экспериментального обогатительного цеха по производству ВЧК, в состав которого должна была войти специализированная лаборатория по исследованию кварца. Это послужило основой для разработки программы геологоразведочных, научно-исследовательских, опытно-экспериментальных работ и промышленных испытаний пегматитового кварцевого сырья Карело-Кольской пегматитовой провинции на перспективу.

Таким образом, по состоянию на 1990 год имелись обоснованные данные для включе-

Таблица 1. Характеристика запасов кварцевого сырья Беломорской пегматитовой провинции [Салтыков и др., 1990]

Table 1. Characteristics of quartz raw material reserves of the Belomorskaya pegmatite province [Saltykov et al., 1990]

Промышленный тип Industrial type	Месторождение Deposit	Запасы, тыс. т. Reserves, thousand tons			
		Всего Total	В	C ₁	C ₂
Молочно-белый жильный кварц Milky-white vein quartz	Малиновская Варакка Malinovaya Varakka	2024		1817	207
	Плотина Plotina	220		23	197
	Слюдозеро Slyudozero	662			662
Кварц для керамических изделий Quartz for ceramic products	Малиновская Варакка Malinovaya Varakka	110,5		80,8	29,7
	Плотина Plotina	95	5	9,8	80,2
	Слюдозеро Slyudozero	140			140
	Карельское Karelskoe	0,8			0,8
	Станционное Stantsionnoe	4,3		1,5	2,8
	Хетоламбина Khetolambina	46,9	2,5	31,8	12,6
	Уч. Климовский Klimovsky site	34,9		2,9	32
Слюдяной Бор Slyudyanoi Bor	49,4		42,3		

ния Карело-Кольской пегматитовой провинции в число перспективных регионов по созданию сырьевой базы для промышленного производства специальных кварцевых изделий и материалов, отвечающей требованиям как в количественном, так и в качественном отношении, но в силу изменения политической и экономической ситуации в стране и распада СССР эти планы не осуществились.

В условиях рыночной экономики в соответствии с Программой геологоразведочных работ на территории Карелии в 1995–2000 гг. Институтом геологии КарНЦ РАН совместно с Северной поисково-разведочной экспедицией проводились исследования по проекту «Прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе 1:1 000 000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий». Основным итогом работы стала прогнозно-минерагеническая карта кварценосности Карелии в масштабе 1:1 000 000 с выделенными минерагеническими зонами, кварценосными районами и узлами, на которой показан ресурсный потенциал не только традиционно известной Беломорской кварценозной провинции, но и всей территории Карелии, основную часть которой занимает Карельский кратон (рис. 2). Кроме того, были даны рекомендации по проведению дальнейших поисковых и прогнозно-минерагенических исследований на территории Карелии [Родионов, Щипцов, 2000; Щипцов и др., 2001; Данилевская и др., 2004 и др.].

В основу данной статьи вошли материалы и результаты последних лет, так как они позволяют определять новые подходы к оценке кварцевого сырья Карело-Кольского региона. В настоящее время проведено ревизионное обследование и опробование потенциально перспективных участков. В результате имеются предпосылки и обоснование для доказательства наличия в докембрийских комплексах региона кварценосных объектов, пригодных для использования в производстве концентратов высокой чистоты. К наиболее существенным предпосылкам, отражающим особенности геодинамических режимов в историческом развитии, могут быть отнесены: наличие мощной коры континентального типа, длительная хронология событий с проявлениями полихронного метаморфизма от зеленосланцевой до гранулитовой фаций в тектонических обстановках субдукций, коллизий, рифтинга и др. К важным результатам региональных исследований следует отнести выявление кварцевых жил, сложенных гранулированным кварцем, которые

приурочены к областям интенсивного развития процессов кислотного выщелачивания и высокобарического метаморфизма. Кроме этого, установлены достаточно чистые по полученным качественным характеристикам сливные кварциты. В прибрежной полосе Белого моря обнаружены россыпи галечного кварца, имеющие потенциальное значение. В составе россыпей галечного кварца содержится до 30 % гранулированного или прозрачного кварца. В целом на территории сформированы полигенетические типы кварца, образованные в каждой региональной структуре. На отдельных участках проведена кварцевометрическая съемка в масштабе 1:50 000 и крупнее. На основе кварцевометрического картирования составлены карты и планы. Составлены также кадастр известных проявлений кварцевого сырья и регистрационная карта основных кварцевых проявлений Карелии в масштабе 1:1 000 000.

Проведено ревизионное лабораторное опробование всех генетических типов кварцевого сырья с отбором представительных проб для лабораторных технологических испытаний. Получены результаты по качественным характеристикам кварцевого сырья основных проявлений, по минералого-технологическим особенностям кварца каждой генетической группы, позволяющие сделать предварительную оценку возможных направлений использования и промышленной значимости конкретных объектов.

Основные месторождения кварцевого сырья Карело-Кольского региона

Объектами исследований выбраны месторождения и проявления кварцевого сырья Карело-Кольской кварценозной провинции, различные по генезису и возрасту от неогена до палеопротерозоя. Ниже приводятся краткие характеристики наиболее крупных кварцевых объектов. В потенциально перспективных районах частично проводились поисково-оценочные работы с предварительной оценкой качества кварцевого сырья; на отдельных объектах осуществлено минералого-технологическое картирование, выполнены исследования по обогатимости кварцевого сырья на малых технологических пробах с разработкой оптимальных схем и получены кварцевые продукты в виде концентратов различного качества и назначения.

Перчатка. Месторождение расположено в Енском кварцевом поясе (рис. 3). Вмещающими породами являются биотитовые гнейсы, мигматиты и гранито-гнейсы с подчиненными

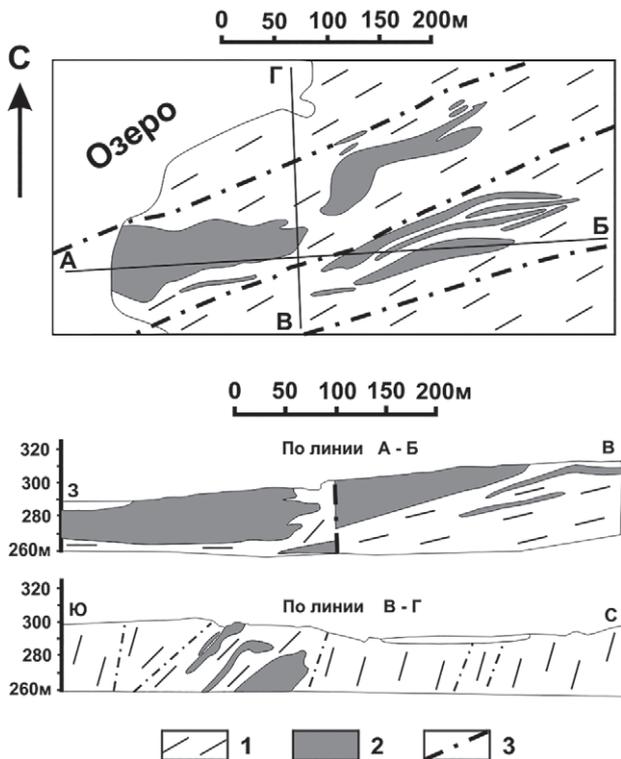


Рис. 3. Схема геологического строения месторождения Перчатка и геологический разрез [Геология..., 2002]:

1 – глиноземистые гнейсы, 2 – кварцевые жилы, 3 – разломы
 Fig. 3. Scheme of the geological structure of the Perchatka deposit and the geological section [Geologiya..., 2002]:

1 – alumina gneiss, 2 – quartz veins, 3 – faults

гранат-биотитовыми и кианит-гранатовыми гнейсами и другими породами беломорского подвижного пояса. Устанавливается четкая приуроченность к тектонической зоне северо-восточного простирания и выделены три основных участка в ней. По простиранию зона прослежена на 450 м, видимая мощность от 80 до 150 м [Геология..., 2002]. Форма тел линзовидная и сложена в основном гранулированным и реже стекловидным кварцем. Гранулированный кварц имеет неравномернозернистую структуру с крупными прозрачными зернами изометрической или вытянутой формы размером 0,2–15 мм на фоне мелкозернистой основной массы. Стекловидный кварц отличается крупно-гигантозернистой структурой. Из минеральных основных включений отмечены полевой шпат, мусковит, биотит, хлорит, апатит и амфиболы. Кварц месторождения характеризуется низкой газонасыщенностью. Светопропускание в среднем составляет 65 %, в некоторых образцах – до 80–85 %. Газово-жидкие включения (ГЖВ) в основном распределены по тре-

щинкам залечивания на границах зерен кварца [Данилевская, Скамницкая, 2010].

Малообъемное технологическое обогащение проб кварца, отобранных на разных участках месторождения Перчатка, проведено в Институте геологии КарНЦ РАН по единой схеме для стекловидного, гранулированного и сильно минерализованного кварца из зон трещиноватости. Кварц не проходил предварительную ручную сортировку. В обогащенных кварцевых концентратах установлено повышенное содержание Al и Na, в то время как концентрации Ca, K, Mg, Fe и Ti значительно варьируют в разных пробах. Сделан вывод, что неоднородность сырья, значительные потери при переработке (ручной рудоразборке), ужесточение требований к кварцевым концентратам высокой чистоты, в том числе по спектру примесей, определяют актуальную необходимость переоценки важного минерального сырья, требуют поиска новых подходов к его оценке и переработке [Данилевская, Скамницкая, 2010].

Меломайс. В гранито-гнейсах северо-западной части Карельского кратона выявлена мощная кварцево-жильная зона субмеридионального простирания, которая по своим масштабам является уникальным проявлением кварца на территории Фенноскандинавского щита. Данный участок Меломайс расположен в Калевальском районе Республики Карелия (рис. 4).

Кварцевая жила залегает согласно сланцеватости вмещающих пород, представленных микроклинизированными гранито-гнейсами. На контакте с кварцевой жилой гранито-гнейсы претерпели значительное окварцевание и милонитизацию, что определяет большое влияние тектонического фактора во время формирования кварцевого тела. Северо-западное простирание кварцевого тела, падение крутое, выявленная длина составляет более 1,5 км, а максимальная видимая мощность жилы – около 130 м. Кварцевая жила подвергнута интенсивному позднему рассланцеванию, особенно в краевых частях, где наблюдаются тонкие чередующиеся прослои, сложенные мелкозернистым кварцем и материалом полевошпато-слюдисто-эпидотового состава [Данилевская и др., 2004]

По минеральному составу кварцевая жила довольно однородна, суммарное содержание минеральных примесей варьирует от 1 до 5 %. Минеральные примеси представлены мусковитом, биотитом, хлоритом, калиевым полевым шпатом, эпидотом. В качестве акцессорных минералов встречаются редкие зерна циркона, фторапатита и рутила. Газонасыщенность кварца невысокая.

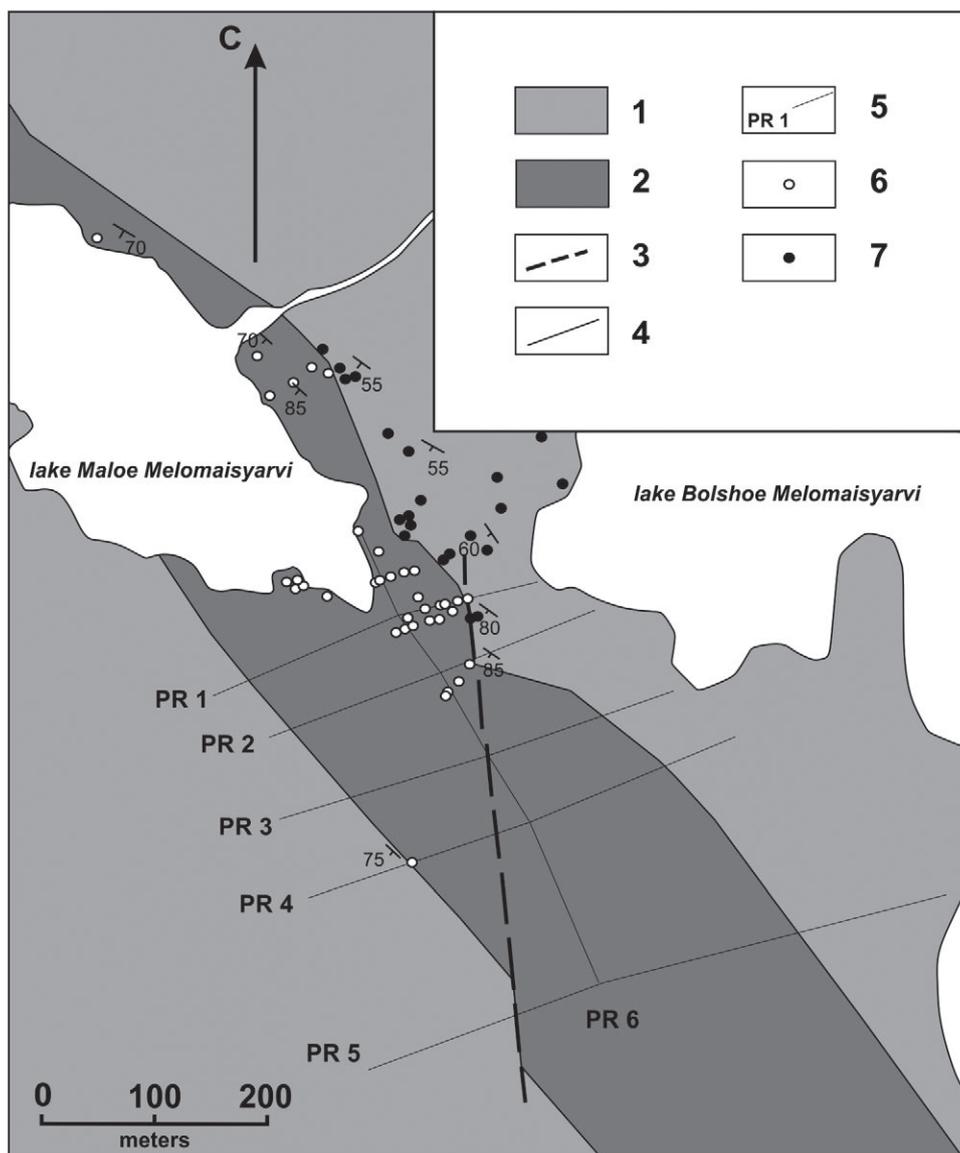


Рис. 4. Геологическая схема участка Меломайс (сост. Л. А. Данилевская, В. В. Щипцов, А. В. Гаранжа [Костомукшский..., 2015]):

1 – гнейсо-граниты, 2 – кварцевая жила, 3 – выходы жильного кварца, 4 – точка контакта гнейсо-гранитов и жильного кварца, 5 – выходы гнейсо-гранитов, 6 – геофизические профили

Fig. 4. Geological scheme of the Melomays site (compiled by L. A. Danilevskaya, V. V. Shchiptsov, A. V. Garanzha [Kostomukshskii..., 2015]):

1 – gneiss-granites, 2 – quartz vein, 3 – outputs of vein quartz, 4 – contact point of gneiss-granites and vein quartz, 5 – outcrops of gneiss-granites, 6 – geophysical profiles

Технологические испытания кварца проведены в Институте геологии КарНЦ РАН (предварительное малое обогащение) и в лаборатории ОАО «Полярный кварц» (глубокое обогащение). Среднее содержание SiO_2 в пробах исходного необогащенного кварца составляет 96,84 % при вариациях от 90,6 до 98,8 %. Характерно повышенное содержание примесей Al_2O_3 и K_2O , что связано с присутствием минеральных включений, а также Fe_2O_3 и FeO , которые обусловлены в основном наличием гидроокислов железа.

Кварцевый продукт после операций предварительной очистки отвечает требованиям стекольной промышленности для производства изделий высокой светопрозрачности, а также может быть легко применим для производства диносовых изделий и карбида кремния. Кроме того, кварцевые концентраты после стадий предварительного обогащения соответствуют требованиям промышленности для производства кристаллического кремния [Костомукшский..., 2015].

Весь комплекс проведенных исследований дал возможность оценить потенциал кварца крупного кварценозного тела Меломайс. На данный момент целесообразна постановка дальнейших укрупненных исследований кварцевого сырья с целью оценки его для производства кристаллического кремния, который, в свою очередь, является источником для получения поликристаллического кремния. Актуальность этой задачи определяется прежде всего высоким мировым спросом на поликристаллический кремний для полупроводниковой промышленности и солнечной энергетики. Кроме того, постоянно расширяется спектр применения металлического кремния и феррокремния. Феррокремний является самым крупнотоннажным и выгодным ферросплавом, что связано с направлениями высокотехнологичных производств современной промышленности. Отмечается также рост потребления кремния в химической промышленности, производстве силиконовых (кремнийорганических) материалов для изготовления пластмасс, лакокрасочной продукции и т. п.

Фенькина-Лампи. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи (Медвежьегорский район) является разведанным месторождением [Голованов и др., 2006] и представлено двумя разобщенными кварцевыми телами, различными по форме и размерам. Северная линза имеет длину 245 м, мощность до 70 м, а Южная линза – 120 м при максимальной мощности 20 м (рис. 5). Вмещающие породы представлены полевошпат-кварцевыми песчаниками и карбонатизированными песчано-глинистыми сланцами ятулия. Выделяются четыре типа кварца, которые образуют небольшие зоны и участки: I – молочно-белый крупно-гигантозернистый, II – серовато-белый средне-крупнозернистый, III – светло-серый средне-крупнозернистый, IV – серый средне-крупнозернистый, кавернозный (рис. 5). Кварц в основной массе непрозрачный из-за большого количества ГЖВ, которые образуют густую сеть и придают кварцу молочно-белую окраску.

Первичные зерна кварца образуют крупные вытянутые индивиды размером 1–3 см. В пределах кварцевых тел развита сеть вторичных прожилков с мелкозернистым, более прозрачным кварцем, которые приурочены к вторичным трещинам, иногда образующим занорыши. Кварц данного месторождения характеризуется низким светопропусканием (в среднем 40 %, при вариациях от 17 до 53 %) из-за большого количества флюидных включений. Полученные результаты в ходе исследования ГЖВ позволяют говорить о смене температурных режимов

от низко- до высокотемпературных при формировании жильного кварца [Данилевская, Гаранжа, 2003].

Предварительное обогащение кварца с использованием магнитной сепарации и кислотооттирки показало, что в кварцевых концентратах сохраняется большое количество примесей Fe, K, Na, Ca, Mg. Высокие концентрации этих элементов связаны с минеральными и газовой-жидкими включениями, не удалившимися в процессе очистки. В целом данный кварц пригоден для использования в стекольной промышленности, а по некоторым пробам можно судить о соответствии требованиям ТУ 41-07-014-86 (сорт КЖ-3) для выращивания монокристаллов [Данилевская и др., 2004]. В целом кварц имеет высокий потенциал и подлежит доисследованию. В этом направлении в настоящее время проводятся эксперименты в области технологии глубокой очистки кварца. Предложено использование нестандартных подходов, учитывающих наличие низкотемпературных и высокотемпературных форм ГЖВ в кварце [Светова и др., 2019; Светова, Шанина, 2019]. К таким операциям может быть отнесена сверхвысокочастотная обработка кварцевой крупки, показывающая эффективность в отношении удаления ГЖВ.

Степаново озеро. Интенсивная тектоническая активизация в свекофеннский период на участке Степаново озеро (Лоухский район) привела к интенсивному метаморфизму пород в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. При этом кварцито-песчаники ятулия метаморфизовались в прослойки сливных кварцитов. Метаморфогенно-метасоматические изменения кварцитов происходили при участии углекисловодных растворов, о чем свидетельствуют флюидные включения с высоким содержанием газовой фазы.

В кварцсодержащей толще выделяются четыре разновидности кварца: 1 – серые до светло-серых мелко-среднезернистые кварциты, сливные с ветвящимися кварцевыми жилками мощностью до 0,5 м; 2 – серые до светло-серых мелкозернистые сливные кварциты с прослоями со следами ожелезнения; 3 – серые до темно-серых массивные мелкозернистые кварциты с тонкими прослоями ожелезнения и серицитизации; 4 – рассланцованные, сильно ожелезненные, серицитизированные серые до темно-серых мелкозернистые кварциты. Первые два типа приурочены к центральной части кварцевой толщи, а последний тип наблюдается только на периферийных участках (рис. 6).

Содержание кварца в кварцитах варьирует от 88 % (в серицитизированных серых кварци-

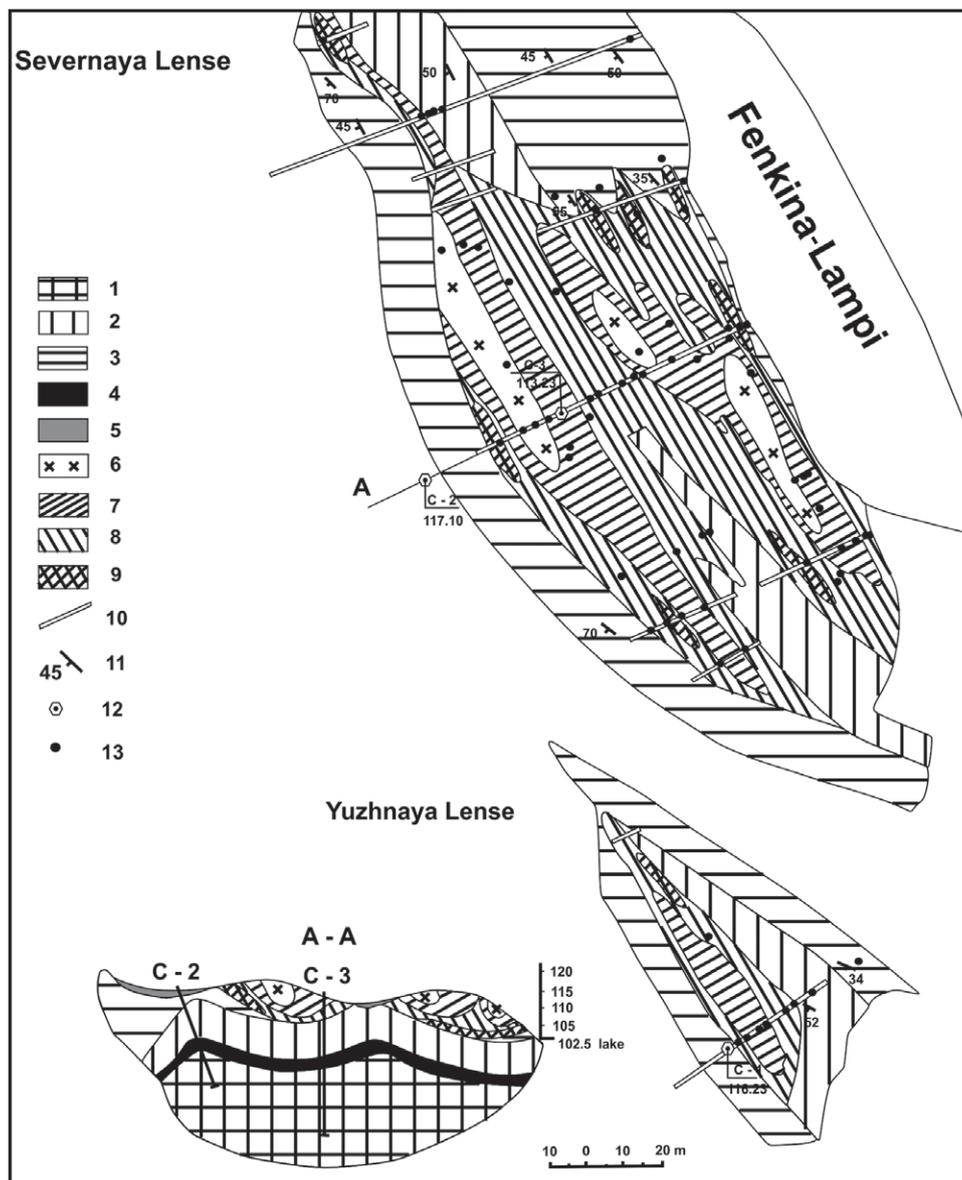


Рис. 5. Геологическая схема месторождения жильного кварца Фенькина-Лампи (сост. А. В. Гаранжа, Л. А. Данилевская, А. А. Иванов (1998 г.) на основе геологической схемы Г. Н. Николаевского и З. А. Зиновьевой (1962 г.):

1 – метадиабаз, 2 – тальк-карбонатные, песчано-глинистые сланцы, 3 – кварцито-песчаники, 4 – кварцевые конгломераты, 5 – четвертичные отложения. Кварц: 6 – молочно-белый крупно-гигантозернистый, 7 – серовато-белый средне-крупнозернистый, 8 – светло-серый средне-крупнозернистый, 9 – серый средне-крупнозернистый, кавернозный, 10 – канавы, 11 – элементы залегания, 12 – скважины, 13 – места отбора проб

Fig. 5. Geological scheme of the Fenkin-Lampi vein quartz deposit (compiled by A. V. Garanzha, L. A. Danilevskaya, A. A. Ivanov (1998) based on the geological scheme of G. N. Nikolaevsky and Z. A. Zinovieva (1962)):

1 – metadiabase, 2 – talc-carbonate, sand-clay shales, 3 – quartzite-sandstones, 4 – quartz conglomerates; 5 – Quaternary deposits. Quartz: 6 – milky-white coarse-giant-grained; 7 – grayish-white medium-coarse-grained; 8 – light gray medium-coarse-grained; 9 – gray medium-coarse-grained, cavernous; 10 – trenches; 11 – elements of occurrences; 12 – shallow bore-holes; 13 – sampling sites

тах приконтактной части) до 100 % (в сливных кварцитах и кварцевых жилках). Структура породы меняется от мелкозернистой в кварци-

тах к более крупнозернистой гранобластовой в жильном кварце. Основной минеральной примесью является мусковит, который развивает-

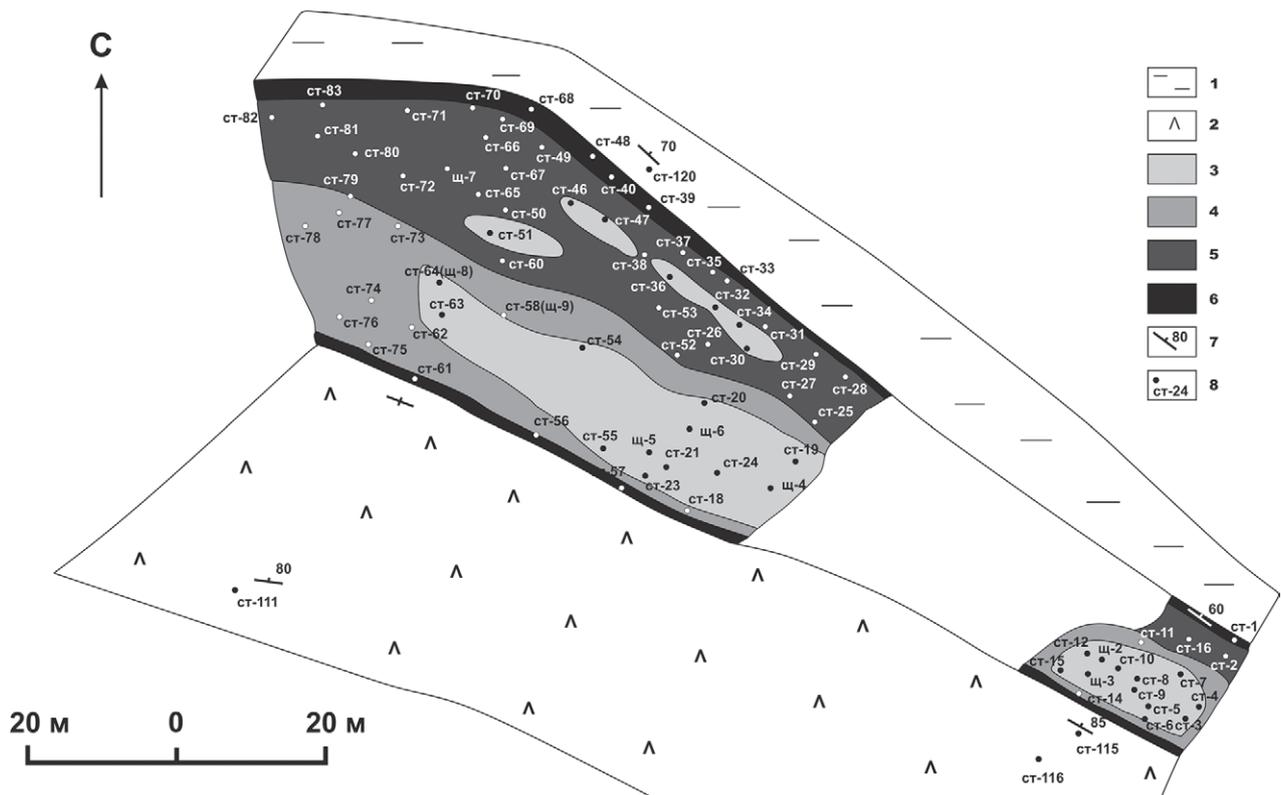


Рис. 6. Геологический план размещения кварцитов участка Степаново озеро (адаптированный по материалам Л. А. Данилевской, А. В. Гаранжи [Родионов, Щипцов, 2000]):

1 – двуслюдяные сланцы с гранатом; 2 – мелкозернистые амфиболиты с биотитом; кварциты: 3 – серые до светло-серых мелко-среднезернистые сливные кварциты с кварцевыми прожилками; 4 – серые до светло-серых мелкозернистые сливные кварциты; 5 – серые массивные мелкозернистые кварциты с прослоями ожелезнения и серицитизации; 6 – рассланцованные, сильно ожелезненные, серицитизированные мелкозернистые кварциты; 7 – элементы залегания; 8 – точки отбора проб

Fig. 6. Geological scheme of quartzites of the Stepanovo Ozero site (adapted from the materials of L. A. Danilevskaya, A. V. Garanzha [Rodionov, Shchiptsov, 2000]):

1 – double-mica schists with garnet; 2 – fine-grained amphibolites with biotite; quartzites: 3 – gray to light gray fine-medium-grained drain quartzites with quartz veins; 4 – gray to light gray fine-grained drain quartzites; 5 – gray massive fine-grained quartzites with layers of ironing and sericitization; 6 – shaved, strongly ironing, sericitized fine-grained quartzites; 7 – bedding elements; 8 – sampling points

ся в основном по субпараллельным трещинам и иногда в виде мелкодисперсных включений находится внутри зерен кварца. В качестве аксессуарных минералов встречаются рудные (пирит, сфалерит), апатит, клиноцоизит. Определяются постепенные переходы от серицитизированных мелкозернистых кварцитов (средние размеры зерен 0,2–2,5 мм) к сливным кварцитам, в которых уменьшается количество минеральных примесей и увеличивается размер зерен до 4–6,5 мм. Структура жильного кварцевого агрегата аналогична кварцитовой, размеры зерен в среднем от 2 мм до 1,2 см. В крупных зернах кварца зафиксированы субструктуры линейно-блокового, брусковидно-блокового, сетчатого погасания, а также мозаичность.

Реликтовые участки слабоизмененного кварцита имеют микропорфириобластовую

структуру и линейно-параллельную текстуру. Окатанные и полуокатанные зерна кварца размером 0,06–0,35 мм составляют основную массу породы, в которой наблюдаются крупные порфириобласты изометричной формы с заливчатыми краями. Вместе с серицитом в виде минеральной примеси присутствуют изометричные зерна плагиоклаза [Данилевская и др., 2004].

Суммарное содержание элементов-примесей в кварцитах участка Степаново озеро невысокое. Отмечается рафинирование кварца от мелкозернистых кварцитов к сливным кварцитам и кварцевым прожилкам. По содержанию элементов-примесей предварительно обогащенного кварцевого сырья этого участка кварц по разным пробам соответствует сортам КПО-3, КПО-4 и КПО-5

ТУ 5726-002-114996665-97 (кварц промежуточной чистоты для плавки прозрачного стекла). Однако для всех проб характерно повышенное содержание Ti, по-видимому, связанного с присутствием волосовидных включений рутила в зернах кварца, что значительно затрудняет процесс глубокого обогащения данного сырья [Данилевская и др., 2004]. Эта проблема ждет своего решения.

Геолого-минералогическая и технологическая оценка

Геохимические характеристики кварца

Важнейшую информацию об условиях образования кварца и его посткристаллизационной «адаптации» к окружающей среде в течение геологических интервалов времени несут сведения о составе и содержании всегда присутствующих в кварце рассеянных элементов-

примесей. В связи с этим в целой серии работ института рассматривалась геохимия кварца [Shchiptsov et al., 1997, 1999; Родионов, Щипцов, 2000; Данилевская и др., 2004; Данилевская, Скамницкая, 2007 и др.]. В табл. 2 приводятся результаты геохимических исследований кварца территории Республики Карелия, полученные по основным генетическим типам по трем региональным структурам – Беломорский подвижный пояс, Карельский кратон и протерозойская Ладожская структура.

Оценка условий минералообразования кварца

Условия минералообразования могут влиять на неоднородность формы и строения микроблоков кварца. Эта неоднородность, выявляемая методом растровой электронной микроскопии (РЭМ), проявляется в неодинаковом размере микроблоков, различной степени их

Таблица 2. Главные элементы-примеси в природном кварце Карелии, ppm

Table 2. The main trace elements in Karelian natural quartz, ppm

Тип кварца Quartz type	Al	Fe	Na	K	Ti
Беломорский подвижный пояс Belomorian mobile belt					
Жильный кварц Veined quartz	$\frac{46-1200}{306}$	$\frac{3-15}{12}$	$\frac{6-530}{130}$	$\frac{6,4-19900}{2117}$	$\frac{3,1-12}{9,52}$
Галечный кварц (морские россыпи) Quartz pebbles (sea placers)	$\frac{37-642}{48}$	$\frac{2,6-13}{6}$	$\frac{16-42}{32}$	$\frac{4,8-6,2}{5,6}$	$\frac{4-20}{8,3}$
Силекситовый кварц Silexitic quartz	$\frac{85-160}{128}$	$\frac{1,77-94}{33}$	$\frac{30-100}{66}$	$\frac{5-13}{8,7}$	$\frac{4-7}{4}$
Пегматитовый кварц Pegmatitic quartz	$\frac{56-840}{226}$	$\frac{0,1-120}{43}$	$\frac{15,4-340}{125}$	$\frac{5-490}{79}$	$\frac{2-11,3}{5,8}$
Карельский кратон Karelian craton					
Жильный кварц Veined quartz	$\frac{21-470}{98}$	$\frac{1,1-8,8}{2}$	$\frac{6,9-250}{50}$	$\frac{1-82}{32}$	$\frac{0,3-37}{6}$
Силекситовый кварц Silexitic quartz	$\frac{27-32}{29}$	$\frac{6-13}{9,5}$	$\frac{24-37}{30}$	$\frac{4,3-8,3}{6,3}$	$\frac{1-1,2}{1,1}$
Пегматитовый кварц Pegmatitic quartz	150	26	96	5	5
Кварциты Quartzitic quartz	$\frac{47-2200}{1144}$	$\frac{3,3-650}{90}$	$\frac{6,6-1700}{777}$	$\frac{5-1200}{340}$	$\frac{3-64}{23}$
Кварцосодержащие породы Quartz from quartzbearing rocks	$\frac{250-820}{540}$	$\frac{65-94}{77}$	$\frac{30-250}{130}$	$\frac{130-930}{506}$	$\frac{2-130}{46}$
Протерозойская Ладожская структура Proterozoic Ladoga structure					
Жильный кварц Veined quartz	$\frac{82-6500}{1186}$	$\frac{7,3-1500}{754}$	$\frac{12-2300}{1156}$	$\frac{11-180}{95}$	$\frac{12-120}{66}$
Пегматитовый кварц Pegmatitic quartz	$\frac{66-2000}{719}$	$\frac{7,7-41}{22}$	$\frac{20-65}{41}$	$\frac{11-280}{102}$	$\frac{5-13}{8}$

Примечание. Анализы выполнены с использованием атомно-абсорбционного метода на спектрометре AAS в лабораториях Tatsumori Co (Япония) и Analytica Ab (Швеция). В числителе – вариации содержания, в знаменателе – среднее значение.

Note. Analyses were carried out by the atomic-absorption spectrophotometer method (AAS) in the laboratories of Tatsumori Co (Japan) and Analytica Ab (Sweden). In nominator – variation limit, in denominator – average meaning.

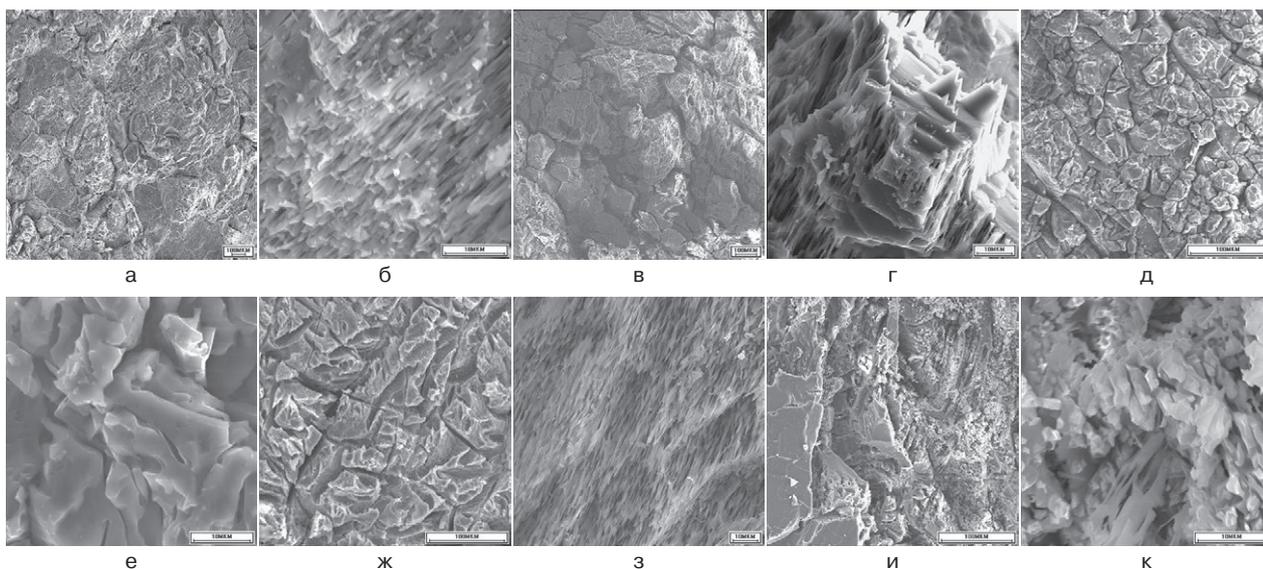


Рис. 7. СЭМ-изображения поверхностей зерен кварца месторождений Кюрьяла (а, б), Фенькина-Лампи (в, г), Меломайс (д, е), Перчатка (ж, з), Майское (и, к):

протравленная, после обработки в HF – а, в, д, ж, и; кристаллиты в зернах кварца – б, г, е, з, к

Fig. 7. SEM images of quartz grains surface of the Kyuryala (a, б), Fenkina Lampi (в, г) Melomais (д, е) Perchatka (ж, з), Maiskoe (и, к) deposits:

etched, after processing in HF – а, в, д, ж, и; crystallites in quartz grains – б, г, е, з, к

дефектности, разной ориентации относительно друг друга и определенных свойств. Установлено, что мелкозернистое строение кварца отвечает высокой скорости его кристаллизации, а крупнозернистое, напротив, характеризует медленно меняющиеся, стабильные условия минералообразования. Одинаковая степень дефектности кварцевых микроблоков свойственна одностадийным процессам их образования. Напротив, появление микроблоков различной степени дефектности указывает на многостадийный характер формирования кварцевого тела и т. д.

Методом просвечивающей электронной микроскопии показано, что строение кварца имеет ярко выраженную зональность [Раков, Дубинчук, 2009]. Установлено, что реальная кристаллическая структура минерала напоминает слоеный пирог. Области кристаллического кварца в нем чередуются с областями дефектной, практически аморфной структуры, обогащенной примесями. Размеры каждой из областей могут варьировать от 5 до нескольких десятков нанометров и более. Области кристаллического кварца были названы кристаллитами, а аморфного – демпферными зонами. Основная часть кристаллитов представляет собой элементарные, наиболее чистые и имеющие совершенную кристаллическую структуру микроблоки кварца. Изучение методом РЭМ

формы и взаимного расположения кристаллитов (рис. 7) дает возможность получать генетически значимую информацию.

Анализ образцов кварца из месторождения керамических пегматитов Кюрьяла свидетельствует о его образовании из коллоидных систем. В них кристаллизация может протекать спонтанно с образованием зерен кварца различной формы и ориентации. На рис. 7 (а) прослеживаются контуры первичных зерен, имеющие сравнительно большие размеры. Внутри первичных зерен видны очертания более мелких зерен, связанных с процессом перекристаллизации, протекавшим в условиях медленно меняющейся термодинамической обстановки. На это указывают форма, размеры кристаллитов и картина их распределения, соответствующие процессу равномерно развивающейся перекристаллизации. Температуры процессов образования и перекристаллизации кварца высокие. В таких условиях может происходить интенсивная дифференциация примесей в объеме минерала и появляются демпферные зоны (рис. 7, б).

Образование кварца на месторождении Фенькина-Лампи (рис. 7, в, г) протекало в совершенно иной термодинамической обстановке [Скамницкая и др., 2013]. Кристаллиты в нем гораздо крупнее и разориентированы в пространстве. Вытравленные демпферные

зоны также не имеют какой-либо упорядоченной формы. Такое взаимоотношение кристаллитов и демпферных зон характерно для кварца, образованного в условиях низких давлений и температур.

Наблюдаемые явления на месторождениях Кюрьяла и Фенькина-Лампи характерны и для месторождения Меломайс (рис. 7, д, е). С одной стороны, в кварце присутствуют мелкие кристаллиты, имеющие одинаковую ориентацию (левая нижняя часть рис. 7, д), с другой – крупные разориентированные кристаллиты (правая верхняя часть рис. 7, д). Это свидетельствует о том, что кварц, образованный при стабильных РТ-условиях, затем подвергся влиянию вторичных низкотемпературных процессов.

Несколько иная природа образования кварца отмечается для месторождения Перчатка. В этом кварце после обработки в HF не прослеживаются очертания отдельных кварцевых зерен (рис. 7, ж, з). Следы травления имеют вид борозд на поверхности кварца. Подобный факт позволяет предположить, что данный кварц образовался не из геля, а из истинных растворов, что может быть вызвано недостаточно высоким содержанием двуоксида кремния в минералообразующем растворе, и это создало благоприятную обстановку для монотонного роста крупных и хорошо ориентированных в пространстве микроблоков кварца. Характер распределения и форма кристаллитов показывают, что процесс кристаллизации протекал при стабильных РТ-условиях и высокой температуре (рис. 7, з).

Кварц месторождения Майское имеет трудную для интерпретации картину распределения микроблоков кварца (рис. 7, и) и кристаллитов (рис. 7, к). При их анализе обнаруживается наложение друг на друга целого ряда процессов при отсутствии доминирующего влияния какого-либо из них. Анализ условий образования жильного кварца месторождения Майское показал, что многоэтапность формирования кварца в условиях невысоких температур (350–300 °С), а также влияние метасоматической переработки на более поздних стадиях при общем снижении температур (до 220 °С) привели к перекристаллизации с образованием химически чистого кварца с высоким индексом кристалличности, который варьирует от 7,4 до 8, что говорит о высокой однородности внутреннего строения [Раков, 2006].

Полученные результаты имеют важное технологическое значение. Они показывают, что по виду кристаллитов можно прогнозировать чистоту конечного продукта, получаемую при

обогащении кварцевого сырья. Чем меньше размеры кристаллитов и демпферных зон, тем чище может оказаться конечный продукт.

Качество кварцевых концентратов

Этот путь к итоговым результатам исследований последних десятилетий проходил поэтапно. Важное место было определено технологическим работам. В табл. 3 приведена характеристика кварцевых концентратов глубокого обогащения, полученных из природного кварцевого сырья наиболее значимых объектов Карело-Кольского региона в сравнении с эталонным кварцевым продуктом IOTA-STD, что позволяет дать качественную оценку изученных объектов на предварительной стадии.

Преимущества использованных приемов оценки исходного сырья и технологий очистки кварца опробованы на примере способов оценки качества исходного сырья и технологии обогащения на пробах природного кварца объектов Перчатка, Меломайс, Рухнаволок и др. К этому можно добавить, что оценены как традиционные, так и прочие виды кварцевого сырья с использованием новейших методик в геолого-технологическом изучении кварца.

Благодаря работе сотрудников ИГ КарНЦ РАН совместно с коллегами из других организаций страны (ВИМС, ИГЕМ РАН, ИГ КомиНЦ УрО РАН, ГИ КНЦ РАН, ЦНИИГеолнеруд, Центр-кварц) внесен значительный научный вклад в оценку кварцевого сырья Карело-Кольской кварценозной провинции России на современном уровне. Результаты многолетних исследований института могут быть определены в следующем обобщенном виде:

– оценены традиционные и нетрадиционные для Карело-Кольского региона виды кварцевого сырья с использованием новейших методик в области геолого-технологического изучения кварца [Shchiptsov, 1993; Shchiptsov et al., 1997, 1999, 2014a, b; Родионов, Щипцов, 2000; Щипцов и др., 2001, 2010; Данилевская и др., 2004, 2012; Данилевская, 2008, 2012a, б, в; Светова и др., 2012, 2014, 2019; Скамницкая, Бубнова, 2014; Раков и др., 2015, 2017; Светова, Шанина, 2019 и др.];

– разработанный метод технологического и эффективного способа оценки качества кварцевого сырья позволяет достоверно, на предварительной стадии оценки прогнозировать качество кварцевого сырья и направления его использования. Техническим результатом предлагаемого способа является повышение точности и экспрессности, а также упрощение процесса оценки качества кварцевого сы-

Таблица 3. Содержание элементов-примесей в кварцевых концентратах глубокого обогащения из кварцевого сырья месторождений и проявлений Карельского региона, ppm

Объект Subject	Fe	Ti	Al	Mn	Mg	Ca	K	Na	Zr	Sr	Zn	B	Ba	Ni	Cr	Cu	Li	Ge	P	Co	Сумма
ЮТА-STD	0,23	1,3	16,2	<0,05	<0,05	0,5	0,60	0,9	1,3	-	-	-	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	0,90	-	0,10	-	18,8
Карелия Karelia																					
Ружаволок Rukhnavolok	0,64	2,9	13,0	-	0,01	0,002	0,1	3,6	-	0,1	0,03	0,04	0,11	0,023	0	0	4,1	0,23	0,1	0,01	24,9
Степаново озеро Stepanovo Lake	0,5	3,9	35,0	0,04	0,23	0,6	0,05	1,0	0,05	0,09	0,04	0,21	0,02	0,01	0,03	0,06	4,1	0,7	0,2	0,01	49,5
Меломайс Melomais	0,8	4,9	17,0	0,01	0,36	1,5	0,63	2,6	0,63	0,13	0,01	0,07	0,13	0,01	0,024	0,045	0,4	0,11	0,1	0,012	31,8
Фенькина-Лампи Fenkina-Lampi	0,74	0,15	20	0,25	0,49	11,0	0,04	47	0,04	0,2	-	0,37	0,62	0,013	0,012	0,03	0,35	0,3	0,2	0,01	95,9
Майское Maiskoe	0,33	0,2	5,8	0,01	0,2	2,2	1,9	10,	0,02	0,08	-	0,15	0,13	<0,01	<0,01	0,013	0,14	0,18	<0,1	<0,01	21,0
Кварц слюдяных отвалов Quartz of mica dumps	0,63	4,8	42	0,02	0,22	-	≤0,05	6,8	≤0,01	≤0,01	-	0,9	-	≤0,01	≤0,01	1,1	0,9	-	≤0,2	≤0,01	42,3
Кольский полуостров Kola Peninsula																					
Перчатка Perchatka	2,1	0,4	11,0	0,064	0,05	12,0	1,0	1,0	0,02	0,45	0,025	0,31	0,01	0,02	0,01	0,13	2	0,5	0,1	-	30,8
Большие Кейвы, уч. Подманюк Bolshie Keivy Podmanjuk	1,68	3,5	19,0	0,015	1,1	0,29	0,87	1,2	0,04	-	0,02	0,12	0,03	0,024	0,09	0,01	0,28	-	0,1	-	28,4
Большие Кейвы, уч. Ельек Bolshie Keivy El'ek	0,5	6,5	19,5	0,01	0,12	0,59	0,8	0,6	0,01	-	0,034	0,9	0,031	0,01	0,01	0,012	2,6	-	0,1	-	32,3

Примечание. Элементный состав определяется методом ICP-AES в НИЦ «Курчатовский институт» (Москва). «-» – элемент не определялся.
Note. Elemental composition was determined by ICP-AES method in the SIC «Kurchatov Institute» (Moscow). «-» – element was not determined.

рья [Раков, Дубинчук, 2009; Скамницкая и др., 2014, 2018; Shchiptsov et al., 2015; Раков и др., 2016 и др.];

– запатентованный способ очистки кварца является более продуктивным за счет интенсификации процесса очистки кварца от примесей, снижения энергоемкости, длительности, упрощения технологии обогащения, обеспечения высокой экологичности, что позволяет отнести его к высокотехнологичным, экологически безопасным и энергосберегающим технологиям [Данилевская, Скамницкая, 2007; Скамницкая и др., 2013, 2016; Gorbunova et al., 2015];

– полученные результаты могут стать фундаментальным аргументом в пользу расширения минерально-сырьевой базы кварцевого сырья и повышения коэффициента использования недр [Данилевская и др., 2004; Голованов и др., 2006; Данилевская, Шпаченко, 2010; Данилевская, Скамницкая, 2010; Раков и др., 2017; Щипцов и др., 2019 и др.].

Проект ИГ КарНЦ РАН «Суперчистый кварц: Карело-Кольская кварценосная провинция России» удостоен специального приза Петербургской международной технической ярмарки и входящей в ее состав выставки «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech) (Санкт-Петербург, март 2017 г.).

Заключение

Таким образом, можно суммировать, что в процессе многолетних стадийных исследований разработаны новые поисковые признаки обнаружения перспективного кварцевого сырья; оценены как традиционные, так и другие виды кварцевого сырья с использованием новейших методик; обоснованы эффективные инновационные технологии обогащения кварцевого сырья и показана экономическая эффективность – возможные варианты продвижения на данной стадии проекта: трансферт технологии или продажа патентов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (тема НИР № АААА-А18-118020290175-2).

Литература

Геология рудных районов Мурманской области / Ред. В. И. Пожиленко, Б. В. Гавриленко, Д. В. Жиров, С. В. Жабин. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.

Голованов Ю. Б., Михайлов В. П., Щипцов В. В., Родионов В. С. Кварцевое сырье // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Петрозаводск: Карелия, 2006. С. 55–69.

Данилевская Л. А. Карело-Кольская кварценосная провинция // Труды КарНЦ РАН. 2012а. № 3. С. 37–56.

Данилевская Л. А. Кварцевое сырье Кольского полуострова (обзор фондовых материалов и перспективы) // Проблемы рудогенеза докембрийских щитов: Тр. всерос. науч. конф. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. С. 29–33.

Данилевская Л. А. Потенциал Кольского полуострова на кварцевое сырье // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона: Тр. IX Всерос. Ферсмановской науч. сессии. Апатиты, 2012б. С. 26–28.

Данилевская Л. А. Потенциал Республики Карелия в освоении ресурсов кварцевого сырья // Горный журнал. 2012в. № 5. С. 22–25.

Данилевская Л. А., Гаранжа А. В. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования индустриальных минералов Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 29–38.

Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С. Месторождение жильного кварца Перчатка: история освоения, геолого-минералогические особенности, новые подходы к оценке сырья // Геология и полезные ископаемые Кольского п-ова: Тр. VII Всерос. Ферсмановской науч. сессии (Апатиты, 2–5 мая 2010 г.). Апатиты: К&М, 2010. С. 39–44.

Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С. Микропримеси в кварце и их влияние на степень очистки при обогащении // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья: Сб. науч. статей по мат. II Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 128–135.

Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Предварительные данные минералого-технологических исследований кварца золоторудного месторождения Майское (Северная Карелия) // Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии: Сб. статей по матер. докл. VII Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 117–122.

Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С., Светов С. А. Кварцевая галька как нетрадиционный тип кварцевого сырья: возможности очистки и использования // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья (Плаксинские чтения – 2012): Матер. докл. междунар. совещания. Петрозаводск, 2012. С. 250–253.

Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Кварцевое сырье Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 226 с.

Данилевская Л. А., Шпаченко А. К. Особенности жильного гранулированного кварца Карело-Коль-

ского региона // Современная минералогия от теории к практике: Матер. XI съезда РМО. СПб., 2010. С. 332–334.

Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. В. Я. Горьковец, Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 322 с.

Липовский Ю. О. Отчет Кольской партии СПО «Сверкварцсамоцветы» «Перспективная оценка кварцево-жильных полей и участков Мурманской области на сырье для плавки кварцевого стекла» по результатам работ, проведенных в 1988–90 гг.». ФГУ. 1991 г.

Раков Л. Т. Механизмы изоморфизма в кварце // Геохимия. 2006. № 10. С. 1085–1096.

Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Новые подходы к проведению оценки качества кварцевого сырья // Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов: Сб. науч. статей по матер. Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 78–82.

Раков Л. Т., Дубинчук В. Т., Щипцов В. В., Скамницкая Л. С. Подвижные примеси в кварце Карело-Кольского региона // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 10. С. 100–118. doi: 10.17076/geo377

Раков Л. Т., Скамницкая Л. С., Дубинчук В. Т., Ружицкий В. В. Технологические свойства кварца Карело-Кольского региона сырья // Результаты междисциплинарных исследований в технологической минералогии: Сб. статей по матер. докл. Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 96–104.

Раков Л. Т., Щипцов В. В., Дубинчук В. Т., Скамницкая Л. С. Кварцевое сырье Карело-Кольского региона: о природе образования и генетическом значении субмикроскопических структурных неоднородностей в кварце // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 7. С. 164–180. doi: 10.17076/geo142

Родионов В. С., Щипцов В. В. Отчет о прогнозно-минерагеническом изучении Республики Карелия в масштабе 1:1000000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий (1995–2000 гг.). Кн. 1–4. Петрозаводск, 2000. (КарТФГИ).

Салтыков Ю. М. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследования кварца Карело-Кольской провинции с целью выявления запасов высокочистого кварцевого сырья для промышленности кварцевых изделий, оптического стекла, синтеза искусственных кристаллов и кварцевой керамики». 1990. (КарТФГИ).

Светова Е. Н., Светов С. А., Данилевская Л. А. Редкие и редкоземельные элементы в кварце как индикаторы условий минералообразования // Труды КарНЦ РАН. 2012. № 3. С. 137–145.

Светова Е. Н., Скамницкая Л. С., Светов С. А. Минералого-геохимическая характеристика палеопротерозойских кварцевых конгломератов как нетрадиционного источника кварцевого сырья // Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья: Сб. науч. ст. по матер. VIII Рос. семинара по тех-

нол. минерал. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 132–141.

Светова Е. Н., Скамницкая Л. С., Шанина С. Н. Содержание воды в слабопрозрачном жильном кварце месторождения Фенькина-Лампи (Карелия) как критерий его качества // Разведка и охрана недр. 2019. № 10. С. 35–40.

Светова Е. Н., Шанина С. Н. Анализ газово-жидких включений в жильном кварце месторождения Фенькина-Лампи методом газовой хроматографии // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья: Сб. ст. по матер. XII Рос. семинара по технол. минерал. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. С. 93–97. doi: 10.17076/tm13_14

Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Способ обогащения природного кварцевого сырья. Патент РФ № 2483024. 2013.

Скамницкая Л. С., Данилевская Л. А., Щипцов В. В., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т. Способ оценки качества кварцевого сырья. Патент РФ № 2525681. 2014.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Влияние способа термообработки на физико-механические свойства кварца месторождения Майское // Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья: Сб. науч. ст. по матер. VIII Рос. семинара по технол. минерал. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 124–132.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Светов С. А. Технологическая минералогия высококремнистых осадочных пород Карелии – нетрадиционного кварц-полевшпатового сырья // Обогащение руд. 2016. С. 35–42. doi: 10.17580/or.2016.04.06

Скамницкая Л. С., Раков Л. Т., Дубинчук В. Т., Бубнова Т. П. Метод опережающей диагностики обогатимости кварца // Разведка и охрана недр. 2018. № 10. С. 62–66.

Щипцов В. В., Данилевская Л. А., Гаранжа А. В., Родионов В. С. Прогнозно-минерагеническая оценка кварценоности Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 4. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 71–78.

Щипцов В. В., Раков Л. Т., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Минералого-технологические критерии оценки перспективности кварцевого сырья Карело-Кольской кварценозной провинции // Геология и минерагения Северо-Востока России: Матер. XVII геологического съезда Республики Коми. Т. 3. Сыктывкар, 2019. С. 269–272.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Данилевская Л. А. Роль геологических, минералогических и технологических исследований Института геологии КарНЦ РАН в оценке потенциала минерально-сырьевой базы Республики Карелия // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья: Сб. статей. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 37–55.

Щипцов В. В. Промышленные минералы Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 16–20. doi: 10.17580/gzh.2019.03.03

Blankenburg H-J., Götze J., Schultz H. Quarzrohstoffe. Leipzig-Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoff-industrie, 1994. 296 p.

Flook R. Silica and high purity quartz // *Industrial Minerals*. 2013. 25 p.

Gorbunova E. V., Chertov A. N., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. A selective factors searching technique for mineral raw materials enrichment by optical sorting method // SGEM2015 Conf. Proceed. Sofia, Bulgaria, 2015. Book 1, vol. 1, Section Geology. P. 561–568. doi: 10.5593/SGEM2015/B11/S4.071

Quartz: Deposits, mineralogy and analytics / Eds. Jens Götze & Robert Möckel. Springer Geology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. 355 p.

Shchiptsov V. V. Quartz // *Precambrian industrial minerals of Karelia*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1993. P. 31–32.

Shchiptsov V. V., Astala J., Skamnitskaya L. S. Quartz of Karelia (Russia) // *Mineral Deposits* / H. Papunen (ed.). Rotterdam: Balkema, 1997. P. 751–753.

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Geological and economic evaluation of quartz from the Republic of Karelia, Russia // SGEM2014 Conf. Proceed. Sofia, Bulgaria, 2014a. Vol. 1. P. 153–160. doi: 10.5593/SGEM2014/B11/S1.019

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Garanzha A. V., Danilevskaya L. A., Rodionov V. S., Astala J., Iwasaki H., Iwasaki F. Assessment of quartz occurrences in the Republic of Karelia and their potential for pure quartz product // *Industrial minerals: deposits and new developments in Fennoscandia*. Petrozavodsk, 1999. P. 63–67.

References

Danilevskaya L. A., Skamnitskaya L. S. Mestorozhdenie zhil'nogo kvartsa Perchatka: istoriya osvoeniya, geologo-mineralogicheskie osobennosti, novye podkhody k otsenke syr'ya [Perchatka vein quartz deposit: development history, geological-mineralogical features, and new approaches to raw materials assessment]. *Geol. i poleznye iskopaemye Kol'skogo poluostrova: Tr. VII Vseros. Fersmanovskoi nauch. sessii (Apatity, 2–5 may 2010)* [Geol. and mineralogy of the Kola Peninsula: Proceed. VII All-Russ. Fersman sci. session (Apatity, May 2–5, 2010)]. Apatity: K&M, 2010. P. 39–44.

Danilevskaya L. A. Karelo-Kol'skaya kvartsenosnaya provintsiya [Karelian-Kola quartziferous province]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2012a. No. 3. P. 37–56.

Danilevskaya L. A. Kvartsevoe syr'e Kol'skogo poluostrova (obzor fondovykh materialov i perspektivy) [Quartz raw materials of the Kola Peninsula: archive materials review and prospects]. *Probl. rudogeneza dokembriiskikh shchitov: Tr. vseros. nauch. konf.* [Problems of the Precambrian shields orogenesis: Proceed. All-Russ. sci. conf.] Apatity: KNTs RAN, 2008. P. 29–33.

Danilevskaya L. A. Potentsial Kol'skogo poluostrova na kvartsevoe syr'e [Potential of the Kola Peninsula for quartz raw materials]. *Geol. i strategicheskie poleznye iskopaemye Kol'skogo regiona: Tr. IX Vseros. Fersmanovskoi nauch. sessii* [Geol. and strategic raw material of the Kola region: Proceed. IX All-Russ. Fersman sci. session]. Apatity, 2012b. P. 26–28.

Danilevskaya L. A. Potentsial Respubliki Kareliya v osvoenii resursov kvartsevogo syr'ya [Potential of the Republic of Karelia in developing quartz raw material]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2012b. No. 5. P. 22–25.

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Voytekhovskiy Yu. L., Bubnova T. P., Dubinchuk V. T., Rakov L. T. Geological and mineralogical-technological appraisal of quartz as a raw material from the Karelia-Kola quartz-bearing province, a new promising region of Russia // *Abs. and Proceed. of the Geol. Society of Norway. The Arctic Days 2014. Norsk Geologisk Forening c/o Norges geologiske undersokelse N-7491*. Trondheim, 2014b. P. 80–81.

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Rakov L. T., Dubinchuk V. T. Genetic value and the technological importance of structural not uniformity of submicroscopic level in quartz // SGEM2015 Conf. Proceed. Sofia, Bulgaria, 2015. Book 1, vol. 1, Section Geology. P. 395–402. doi: 10.5593/SGEM2015/B11/S1.050

The economics of quartz // Roskill Information Services Ltd. London, 1992. 56 p.

Weil J. A. A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz // *Phys. Chem. Mineral.* 1984. No. 10. P. 149–165.

Weil J. A. A review of the EPR spectroscopy of the point defects in σ -quartz the decade 1982–1992 // Helms C. R., Deal B. E. (eds). *Physics and Chemistry of SiO₂ and the Si-SiO interface 2*. New York: Plenum Press, 1993. P. 131–144.

Поступила в редакцию 18.05.2020

Danilevskaya L. A., Garanzha A. V. Mestorozhdenie zhil'nogo kvartsa Fen'kina-Lampi: geologo-mineralogicheskie aspekty formirovaniya, tipomorfnye svoistva i otsenka kachestva [Fen'kina-Lampi vein quartz deposit: geological-mineralogical aspects of formation, polymorphic features and quality control]. *Geologo-tekhno. issled. industrial'nykh mineralov Fennoskandii* [Geological-mineralogical investigation of Fennoscandian industrial minerals]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 29–38.

Danilevskaya L. A., Skamnitskaya L. S. Mikroprime-si v kvartse i ikh vliyanie na stepen' ochistki pri obogashchenii [Impurity in quartz and their effect to enrichments degree]. *Znachenie issled. tekhnol. mineralogii v reshenii zadach kompleksnogo osvoeniya mineral'nogo syr'ya: Sb. nauch. statei po mater. II Ros. seminara po tekhnol. mineralogii* [The importance of technol. mineralogy research in solving the problems of integrated development of mineral raw materials: Proceed. II Russ. seminar on technological mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 128–135.

Danilevskaya L. A., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Predvaritel'nye dannye mineralogo-tekhnologicheskikh issledovaniy kvartsa zolotorudnogo mestorozhdeniya Maiskoe (Severnaya Kareliya) [Preliminary data from mineralogical and technological studies of quartz of the Mayskoye gold-ore deposit (North Karelia)]. *Prognoznaya otsenka tekhnol. svoystv poleznykh iskopaemykh metodami prikladnoi mineralogii: Sb. statei po mater. dokl. VII Ros. seminara po tekhnol. mineralogii* [Forecast assessment of technol. properties of raw materials by applied mineralogy methods: Proceed.

VII Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 117–122.

Danilevskaya L. A., Skamnitckaya L. S., Svetov S. A. Kvarcsevaya gal'ka kak netraditsionnyi tip kvartsevogo syr'ya: vozmozhnosti ochistki i ispol'zovaniya [Quartz pebbles as nonconventional type of quartz raw material]. *Sovr. metody tekhnol. mineralogii v protsessakh kompleksnoi i glubokoi pererabotki mineral'nogo syr'ya (Plaksinskie chteniya – 2012): mater. dokl. mezhd. soveshch.* [Modern methods of technol. mineralogy in the processes of complex and deep processing of mineral raw materials (The Plaksinsky readings – 2012): Proceed. int. meeting]. Petrozavodsk, 2012. P. 250–253.

Danilevskaya L. A., Skamnitckaya L. S., Shchiptsov V. V. Kvarcsevoe syr'e Karelii [Karelian quartz raw material]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. 226 p.

Danilevskaya L. A., Shpachenko A. K. Osobennosti zhil'nogo granulirovannogo kvartsa Karelo-Kol'skogo regiona [Features of veined granular quartz of the Karelian-Kola region]. *Sovr. mineralogiya ot teorii k praktike: mater. XI s'ezda RMO* [Modern mineralogy from theory to practice: Proceed. XI Congress RMS]. St. Petersburg, 2010. P. 332–334.

Geologiya rudnykh raionov Murmanskoi oblasti [Geology of ore areas of the Murmansk Region]. Eds. V. I. Pozhilenko, B. V. Garilenko, D. V. Zhiron, S. V. Zhabin. Apatity: KNTs RAN, 2002. 359 p.

Golovanov Yu. B., Mikhailov V. P., Shchiptsov V. V., Rodionov V. S. Kvarcsevoe syr'e [Quartz raw material]. *Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya* [Raw material base of the Republic of Karelia]. Book 2. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. P. 55–69.

Kostomukshskii rudnyi raion (geologiya, glubinnoe stroenie i minerageniya) [Kostomuksha mining region: geology, deep structure, and minerageny]. Eds. V. Ya. Gor'kovets, N. V. Sharov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 322 p.

Lipovskii Yu. O. Otchet Kol'skoi partii SPO "Severkvartssamotsvety" "Perspektivnaya otsenka kvartsevo-zhil'nykh polei i uchastkov Murmanskoi oblasti na syr'e dlya plavki kvartsevogo stekla" po rezul'tatam rabot, provedennykh v 1988–90 gg." [Report of the Kola party of the NPA Severkvartssamotsvety *Prospective assessment of quartz-vein fields and sections of the Murmansk Region on raw materials for melting quartz glass* based on the results of work carried out in 1988–90]. FGU. 1991.

Rakov L. T. Mechanism of isomorphic substitution in quartz. *Geochem. Int.* 2006. Vol. 44, no. 10. P. 1004–1014.

Rakov L. T., Dubinchuk V. T. Novye podkhody k provedeniyu otsenki kachestva kvartsevogo syr'ya [New approaches to assessing the quartz raw materials grade]. *Novye metody tekhnol. mineralogii pri otsenke rud metallov i promyshlennykh mineralov: Sb. statei po mater. Ros. seminara po tekhnol. mineral.* [New methods of technological mineralogy in the evaluation of ores and industrial minerals: Proceed. Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk, 2009. P. 78–82.

Rakov L. T., Dubinchuk V. T., Shchiptsov V. V., Skamnitckaya L. S. Podvizhnye primesi v kvartse Karelo-Kolskogo regiona [Mobile mixtures in quartz from the Karelian-Kola region]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans.

KarRC RAS]. 2016. No. 10. P. 100–118. doi: 10.17076/geo377

Rakov L. T., Skamnitckaya L. S., Dubinchuk V. T., Ruzhitskii V. V. Tekhnologicheskie svoistva kvartsa Karelo-Kol'skogo regiona syr'ya [Technological properties of quartz of the Karelo-Kola region]. *Rezul'taty mezhdistsiplinarnykh issled. v tekhnol. mineralogii: Sb. statei po mater. Ros. seminara po tekhnol. mineral.* [Results of interdisciplinary researchers in technol. mineralogy: Proceed. Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk, 2017. P. 96–104.

Rakov L. T., Shchiptsov V. V., Dubinchuk V. T., Skamnitckaya L. S. Kvarcsevoe syr'e Karelo-Kol'skogo regiona: o prirode obrazovaniya i geneticheskom znachenii submikroskopicheskikh strukturnykh neodnorodnostei v kvartse [Quartz of the Karelian-Kola region as a raw material: on the origins and genetic implications of submicroscopic structural heterogeneities in quartz]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 7. P. 164–180. doi: 10.17076/geo142

Rodionov V. S., Shchiptsov V. V. Otchet o prognozno-mineragenicheskom izuchenii Respubliki Kareliya v masshtabe 1:1000000 s tsel'yu vyyavleniya ob'ektov, perspektivnykh na mineral'noe syr'e dlya proizvodstva spetsial'nykh kvartsevyykh izdelii [Report on the forecast mineragenetic analysis of the Republic of Karelia on a scale of 1:1000000 in order to identify objects promising for mineral raw materials for the production of special quartz products]. Books 1–4. Petrozavodsk, 2000. (KarTFGI).

Saltykov Yu. M. et al. Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote "Issledovaniya kvartsa Karelo-Kol'skoi provintsii s tsel'yu vyyavleniya zapasov vysokochistogo kvartsevogo syr'ya dlya promyshlennosti kvartsevyykh izdelii, opticheskogo stekla, sinteza iskusstvennykh kristallov i kvartsevoi keramiki" [Report on research work *Studies of quartz in the Karelian-Kola region in order to identify stocks of high-purity quartz raw materials for the industry of quartz products, optical glass, the synthesis of artificial crystals and quartz ceramics*]. 1990. (KarTFGI).

Shchiptsov V. V., Danilevskaya L. A., Garanzha A. V., Rodionov V. S. Prognozno-mineragenicheskaya otsenka kvartsenosti Karelii [Forecast mineragenetic assessment of Karelian quartz]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. No. 4. P. 71–78.

Shchiptsov V. V., Rakov L. T., Skamnitckaya L. S., Bubnova T. P. Mineralogo-tekhnologicheskie kriterii otsenki perspektivnosti kvartsevogo syr'ya Karelo-Kol'skoi kvartsenosnoi provintsii [Mineralogical and technological criteria for assessing the prospects of quartz raw materials of the Karelian-Kola quartziferous province]. *Geol. i minerageniya Severo-Vostoka Rossii: mat-ly XVII geol. s'ezda Respubliki Komi* [Geol. and Minerageny of the North-East of Russia: Proceed. XVII geol. congress of the Republic of Komi]. No. 3. Syktyvkar, 2019. P. 269–272.

Shchiptsov V. V., Skamnitckaya L. S., Bubnova T. P., Danilevskaya L. A. Rol' geologicheskikh, mineralogicheskikh i tekhnologicheskikh issledovaniy Instituta geologii KarNTs RAN v otsenke potentsiala mineral'no-syr'evoi bazy Respubliki Kareliya [The role of geological, minera-

logical and technological research of the Institute of Geology of KarSC RAS in assessing the potential of the mineral resource base of the Republic of Karelia]. *Tekhnol. mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya: Sb. st.* [Technol. mineralogy, methods of processing mineral raw materials: Proceed.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 37–55.

Shchiptsov V. V. Promyshlennyye mineraly Karelii [Industrial minerals of Karelia]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2019. No. 3. P. 16–20. doi: 10.17580/gzh.2019.03.03

Skamnitskaya L. S., Danilevskaya L. A., Rakov L. T., Dubinchuk V. T. Sposob obogashcheniya prirodno-go kvartsevogo syr'ya [A method for enriching natural quartz raw materials]. Russian Patent No 2483024 (Publication of RU2483024C2). 2013.

Skamnitskaya L. S., Danilevskaya L. A., Shchiptsov V. V., Rakov L. T., Dubinchuk V. T. Sposob otsenki kachestva kvartsevogo syr'ya [A method for grade assessing of quartz raw materials]. Russian Patent No 2525681 (Publication of RU2525681C2). 2014.

Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Vliyanie sposoba termoobrabotki na fiziko-mekhanicheskie svoystva kvartsa mestorozhdeniya Maiskoe [The term treatment effect to physics and mechanics properties of the Maiskoe quartz deposit]. *Tekhnol. mineralogiya v optimizatsii protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya mineral'nogo syr'ya: Sb. nauchn. st. po mat. VIII Ros. seminar po tekhnol. mineral.* [Technol. mineralogy in optimizing the processes of ore preparation and mineral processing: Proceed. VIII Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2014. P. 124–132.

Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P., Svetov S. A. Tekhnologicheskaya mineralogiya vysokokremnistykh osadochnykh porod Karelii – netraditsionnogo kvartspolevoshpatovogo syr'ya [Process mineralogy of Karelian high-silica sedimentary rocks – a nonconventional source of quartzfeldspathic mineral material]. *Obogashchenie rud* [Mineral Processing J.]. 2016. No. 4. P. 35–42. doi: 10.17580/or.2016.04.06

Skamnitskaya L. S., Rakov L. T., Dubinchuk V. T., Bubnova T. P. Metod operezhayushchei diagnostiki obogatimosti kvartsa [A diagnostic method of quartz enrichment]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and Protection of Mineral Resources]. 2018. No. 10. P. 62–66.

Svetova E. N., Svetov S. A., Danilevskaya L. A. Redkie i redkozemel'nye elementy v kvartse kak indikator uslovii mineraloobrazovaniya [Rare and rare earth elements in quartz as indicators of mineralogenesis]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2012. No. 3. P. 137–145.

Svetova E. N., Skamnitskaya L. S., Svetov S. A. Mineralogo-geokhimicheskaya kharakteristika paleoproterozoiskikh kvartsevyykh konglomeratov kak netraditsionnogo istochnika kvartsevogo syr'ya [Mineralogical and geochemical characteristics of the Paleoproterozoic quartz conglomerates as a nonconventional source of quartz raw materials]. *Tekhnol. mineralogiya v optimizatsii protsessov rudopodgotovki i obogashcheniya mineral'nogo syr'ya: Sb. st. po mater. VIII Ros. seminar po tekhn. mineral.* [Technol. mineralogy in the optimization of ore preparation and mineral processing: Proceed. VIII Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2014. P. 132–141.

Svetova E. N., Skamnitskaya L. S., Shanina S. N. Soderzhanie vody v slaboprozrachnom zhil'nom kvartse mestorozhdeniya Fen'kina-Lampi (Kareliya) kak kriterii ego kachestva [Water content in the weakly transparent vein quartz of the Fenkina-Lampi (Karelia) deposit as the criterion of its grade]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and Protection of Mineral Resources]. 2019. No. 10. P. 35–40.

Svetova E. N., Shanina S. N. Analiz gazovo-zhidkikh vkluychenii v zhil'nom kvartse mestorozhdeniya Fen'kina-Lampi metodom gazovoi khromatografii [Analysis of fluid inclusions in vein quartz of the Fenkina-Lampi deposit by gas chromatography]. *Mineralogo-tekhnol. otsenka novykh vidov mineral'nogo syr'ya: Sb. statei po mater. XII Ros. seminar po tekhnol. mineral.* [Mineralogical and technol. assessment of new types of mineral products: Proceed. XII Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2019. P. 93–97. doi: 10.17076/tm13_14

Blankenburg H.-J., Götze J., Schultz H. Quarzrohstoffe. Leipzig-Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoff-industrie, 1994. 296 p.

Flook R. Silica & High purity quartz. *Industrial Minerals*. 2013. P. 25.

Gorbunova E. V., Chertov A. N., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. A selective factors searching technique for mineral raw materials enrichment by optical sorting method. *SGEM2015 Conf. Proceed.* Sofia, Bulgaria, 2015. Book 1, vol. 1, Section Geology. P. 561–568. doi: 10.5593/SGEM2015/B11/S4.071

Quartz: Deposits, Mineralogy and Analytics. Eds. Jens Götze & Robert Möckel. Springer Geology. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 355 p.

Shchiptsov V. V. Quartz. *Precambrian industrial minerals of Karelia*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1993. P. 31–32.

Shchiptsov V. V., Astala J., Skamnitskaya L. S. Quartz of Karelia (Russia). *Mineral Deposits*. H. Papunen (ed.). Rotterdam: Balkema, 1997. P. 751–753.

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Geological and economic evaluation of quartz from the Republic of Karelia, Russia. *SGEM2014 Conf. Proceed.* Sofia, Bulgaria, 2014a. Vol. 1. P. 153–160. doi: 10.5593/SGEM2014/B11/S1.019

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Garanzha A. V., Danilevskaya L. A., Rodionov V. S., Astala J., Iwasaki H., Iwasaki F. Assessment of quartz occurrences the Republic of Karelia and their potential for pure quartz product. *Industrial minerals: deposits & new developments in Fennoscandia*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. P. 63–67.

Shchiptsov V. V., Skamnitskaya L. S., Rakov L. T., Dubinchuk V. T. Genetic value and the technological importance of structural not uniformity of submicroscopic level in quartz. *SGEM2015 Conf. Proceed.* Sofia, Bulgaria, 2015. Book 1, vol. 1, Section Geology. P. 395–402. doi: 10.5593/SGEM2015/B11/S1.050

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Voytekhovskiy Yu. L., Bubnova T. P., Dubinchuk V. T., Rakov L. T. Geological and mineralogical-technological appraisal of quartz as a raw material from the Karelia-Kola quartz-bearing province, a new promising region of Russia. *Abs. and Proceed. of the Geol. Society of Norway*.

The Arctic Days 2014. Norsk Geologisk Forening c/o Norges geologiske undersøkelse N-7491. Trondheim, 2014b. P. 80–81.

The economics of quartz. Roskill Inform. Services Ltd. London: 1992. 56 p.

Weil J. A. A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz. *Phys. Chem. Mineral.* 1984. No. 10. P. 149–165.

Weil J. A. A review of the EPR spectroscopy of the point defects in σ -quartz the decade 1982–1992. *C. R. Helms, B. E. Deal* (eds). *Physics and Chemistry of SiO₂ and the Si-SiO interface 2.* New York: Plenum Press, 1993. P. 131–144.

Received May 18, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щипцов Владимир Владимирович

заведующий отделом минерального сырья, д. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: vv.shchiptsov@gmail.com
тел.: +79216240981

Бубнова Татьяна Петровна

научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: bubnova@krc.karelia.ru
тел.: (814) 768092

Светова Евгения Николаевна

старший научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ensvetova@igkrc.ru, enkotova@rambler.ru
тел.: +79814015434

Скамницкая Любовь Степановна

старший научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: skamnits@krc.karelia.ru
тел.: (814) 768092

CONTRIBUTORS:

Shchiptsov, Vladimir

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: vv.shchiptsov@gmail.com
tel.: +79216240981

Bubnova, Tatyana

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bubnova@krc.karelia.ru
tel.: (814) 768092

Svetova, Evgeniya

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: ensvetova@igkrc.ru, enkotova@rambler.ru
tel.: +79814015434

Skamnitskaya, Lubov

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: skamnits@krc.karelia.ru
tel.: (814) 768092