

УДК 553.613

ПОЛЕВОШПАТОВОЕ СЫРЬЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Т. П. Бубнова, Л. С. Скамницкая, В. П. Ильина

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

Приводится краткий обзор состояния минерально-сырьевой базы полевошпатовых пород Республики Карелия. По разведанным запасам керамических пегматитов Карелия занимает первое место в России. Наибольший интерес в полевошпатовой промышленности представляют калиевые и калий-натровые полевые шпаты (микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз, плагиоклазы), используемые в основном для стекольной и керамической отраслей. Горные породы и промышленные минералы Республики Карелия представляют практический интерес в качестве перспективного минерального сырья для изготовления широкого ассортимента фарфоровых, фаянсовых и других видов керамических изделий, в том числе и различных технических силикатных материалов. Промышленные типы месторождений полевошпатового сырья республики представлены гранитными пегматитами, гранитами-рапакиви, аляскитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами, кислыми вулканическими и субвулканическими образованиями, анортозитами. Большая часть пегматитовых месторождений активно разрабатывалась, отдельные объекты с подсчитанными запасами являются резервной базой. Наиболее детально минералого-технологические особенности нетрадиционного полевошпатового сырья изучены на примере гранитов-рапакиви (Салминский массив), вскрышных пород Костомукшского железорудного района, кварцевых порфиров (Роза-Лампи), сиенитов (Елетьозеро и Элисенваара) и анортозитов (Нижнее Котозеро). Геолого-технологическое изучение различных объектов полевошпатового сырья показало, что породы имеют в основном благоприятные для обогащения текстурно-структурные характеристики и минеральный состав. Обогащение с использованием методов магнитной сепарации позволяет получить кондиционные микроклиновые, кварц-полевошпатовые, нефелин-полевошпатовые концентраты различного качества, пригодные для использования в фарфоро-фаянсовой, электротехнической, стекольной и др. отраслях. Комплексный характер исследований минерального сырья позволяет оценить возможность переработки не только полевошпатового, но и других видов полезных ископаемых, в том числе и отвалов крупных отработанных месторождений. Транспортная доступность, умеренно суровые климатические условия, глубокая изученность минерально-сырьевой базы открывает широкие перспективы для восстановления и дальнейшего развития горнопромышленного комплекса в Карелии.

Ключевые слова: пегматит; микроклин; анортозиты; сиениты; обогащение; магнитная сепарация; технологическая минералогия; Карелия.

T. P. Bubnova, L. S. Skamnikskaya, V. P. Ilyina. FELDSPAR RAW MATERIAL IN THE REPUBLIC OF KARELIA AND ITS TECHNOLOGICAL ASSESSMENT

The article provides a brief overview of the state of the mineral resource base of feldspar rocks in the Republic of Karelia. Karelia ranks first in Russia in terms of proven reserves

of ceramic pegmatites. The feldspar industry is interested the most in potassium and potassium-sodium feldspar (microcline, microcline-pertite, orthoclase, plagioclases), used mainly for the glass and ceramic industries. Rocks and industrial minerals of the Republic of Karelia are of practical interest as a promising mineral raw material for the manufacture of a wide range of porcelain, faience and other types of ceramic products, including various technical silicate materials. Industrial types of feldspar raw material deposits in Karelia are represented by granite pegmatites, rapakivi granites, alaskanites, nepheline and alkaline syenites, acidic volcanic and subvolcanic formations, and anorthosites. Most of the pegmatite deposits have been actively exploited, and some objects with measured reserves are kept as stand-by reserves. The mineral and technological features of non-traditional feldspar raw materials were studied the most thoroughly for rapakivi granites (Salma massif), overburden rocks of the Kostomuksha iron ore district, quartz porphyry (Rosa-Lampi), syenites (Eletyozero and Elisenvaara) and anorthosites (Nizhnee Kotozero). The geological and technological study of various objects bearing feldspar raw materials has shown that the textural and structural characteristics and mineral composition of the rocks are mainly conducive to enrichment. Enrichment using magnetic separation methods yields conditioned microcline, quartz-feldspar, nepheline-feldspar concentrates of varying quality, applicable in the faience, electrical, glass and other industries. The integrated approach to the study of mineral raw materials will enable us to assess the feasibility of processing not only feldspar, but also other types of minerals, including waste dumps of large exhausted deposits. Transport accessibility, moderately harsh climatic conditions, and profound knowledge of the mineral resource base opens up broad prospects for the revival and further development of the mining sector in Karelia.

Key words: pegmatite; microcline; anorthosites; syenites; enrichment; magnetic separation; technological mineralogy; Karelia.

Введение

Полевошпатовое сырье чаще всего используется в технологических процессах производства различных видов и сортов керамических материалов. Высококалиевые полевошпатовые концентраты применяются в основном в керамической промышленности для производства мелкой (бытовая, декоративная фарфоровая и фаянсовая) и строительной (санитарно-керамические изделия, облицовочная и декоративная плитка, низкотемпературная фарфоровая посуда и т. д.) керамики. Натровый полевой шпат предпочтительно использовать в производстве стекла.

Сырье со строго ограниченными массовыми долями K_2O и Na_2O используется в электрокерамическом производстве для изготовления высоковольтных фарфоровых изоляторов и других электрокерамических изделий. Полевой шпат и кварц-полевошпатовые продукты являются важным материалом, используемым в качестве флюса глиноземных и щелочных компонентов и инертного наполнителя в определенных отраслях промышленности. Флюсы в керамической массе действуют как инертные добавки. В процессах обжига они способствуют образованию легкоплавкого расплава, уменьшают температуру обжига продуктов и увеличивают плотность керамики. Натриево-калиевый полевой шпат с преобладанием ортоклаза – лучший флюс

для твердого фарфора. В полевых шпатах этой группы наблюдаются низкие температуры плавления и большой интервал между спеканием и плавлением (140–220 °C), а отношение K_2O/Na_2O должно быть не менее 2 [Tanner, 2016]. Нефелиновый концентрат, который также используется в качестве флюса, проявляет относительно раннее спекание. За счет однородности и стабильности условий, в которых протекают технологические процессы, требуется меньшее количество более дорогого сырья.

На мировом рынке полевошпатового сырья странами-лидерами, обеспечивающими около 60 % мировой добычи и производства, являются Турция, Китай и Италия [Feldspar...]. Россия обладает значительными запасами как традиционного пегматитового, так и нетрадиционного полевошпатового сырья. Имея реальные перспективы развития промышленного производства полевых шпатов, Россия стоит на пятнадцатом месте среди мировых продуцентов.

Горные породы и промышленные минералы Республики Карелия также представляют практический интерес в качестве перспективного минерального сырья для изготовления широкого ассортимента фарфоровых, фаянсовых и других видов керамических изделий, в том числе и различных технических силикатных материалов.

Начиная с 20-х годов XX века Карелия являлась основным поставщиком молотого обо-

гащенного кварц-полевошпатового сырья в бывшем СССР и затем в России. В изучение минерально-сырьевой базы керамической промышленности Карелии большой вклад внесен П. А. Борисовым [1954]. Именно он предложил назвать сырье керамическим пегматитом. После открытия нескольких пегматитовых месторождений в Лоухском районе республики в 1922 г. была создана частная контора Чупинских разработок (Чупгорн). С этим предприятием связано начало промышленной добычи микроклина. Впоследствии создается трест «Союзслюдкомбинат», работающий с производительностью до 40–60 тыс. т в год на керамическом сырье месторождений Чупино-Лоухского пегматитового района [Борисов, 1954]. С 1968 г. начинает действовать Чупинская ПОФ, единственная в бывшем СССР, где производился помол и обогащение полевошпатового сырья с получением кварц-полевошпатового и плагиоклазового концентратов для производства тонкой керамики, фаянсовых и керамических масс. Помимо этого еще несколько десятилетий назад первостепенное промышленное значение как сырьевая база для стекольной промышленности имело Питкярантское пегматитовое поле. Более 400 неравномерно распределенных пегматитовых тел [Пекки, Разоренова, 1977] с 1947 г. разрабатывались Приладожским рудоуправлением. В 1960-е годы возросло производство кварц-полевошпатового сырья на Кондопожском заводе, сырьевой базой которого было месторождение гранит-пегматитов Люпикко. На многих месторождениях жилы керамических пегматитов выработаны.

Основные месторождения полевошпатового сырья Республики Карелия

Промышленные типы месторождений полевошпатового сырья республики представлены гранитными пегматитами, гранитами-рапакиви, аляскитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами, кислыми вулканическими и субвулканическими образованиями, анортозитами [Голованов и др., 2006]. Месторождения пегматитов Карелии территориально приурочены к Северной и Южной группам (рис. 1, табл. 1). На севере – Хетоламбинская (Уракка, Кив-губа, Блинковые Варакки и др.) и Чкаловская (жила им. Чкалова, уч. Климовский, Черная Салма, Попов Наволок, Жила 32 и др.) группы. Большим развитием иризирующих плагиоклазов интенсивной окраски характеризуются пегматиты месторождений Длинная Ламбина, Плот-

ная Ламбина (Пиземский куст). Южные месторождения в свою очередь разделены на Приладожскую (Лупикко, Линнаваара, Хепониemi, Серая Горка, Булка) и Улялегскую (Кюрьяла, Брусничное, Жильный шток (Большое)) группы. В Беломорском районе выделяются керамические месторождения (Картешный Бор, Остров Еловец, Охтинское поле и др.) и слюдяно-керамические (Слюдяной Бор, Торлов ручей и др.).

Широкое распространение в республике имеют нетрадиционные виды полевошпатового сырья (табл. 1), перспективные для получения продукции различного назначения. Эти породы можно объединить в группы: граниты (рапакиви, аляскитовые и пегматоидные); образования кислого вулканогенного комплекса (кварцевые порфиры, геллефлинты, лептитовые гнейсы); сиениты (щелочные альбит-ортоклаз-нефелиновые) и анортозиты.

В результате многолетних исследований сотрудниками Института геологии накоплен значительный фактический материал по геолого-минералогическим особенностям полевошпатовых месторождений, проведены лабораторные и промышленно-технологические испытания, выполнена систематизация и создан банк данных [Белов и др., 1973; Пекки и др., 1976, 1986; Пекки, Разоренова, 1977; Пекки, Скамницкая, 1977; Гродницкий, 1982; Скамницкая и др., 1988; Precambrian..., 1993; Каменева, Скамницкая, 2003; Щипцов, 2007; Щипцов и др., 2008а, 2010 и др.]. На различных этапах исследования минерального сырья результаты дополнялись данными, полученными с использованием современного аналитического и технологического оборудования Института геологии КарНЦ РАН. Химический состав технологических проб и продуктов обогащения определялся методами силикатного и рентгенофлюоресцентного спектрального анализа (рентгенофлюоресцентный спектрометр ARL Advant'X Thermo Scientific). Вариации химического состава отдельных минералов и микроструктурных особенностей изучались на сканирующем электронном микроскопе СЭМ VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350. Петрографическое изучение пород проводилось с использованием оптических микроскопов, в т. ч. ПОЛАМ Р-211, оснащенного цифровой фотокамерой.

Минералого-технологическая оценка полевошпатового сырья

Области применения и качество полевошпатовых, кварц-полевошпатовых, а также нефелин-полевошпатовых концентратов определя-

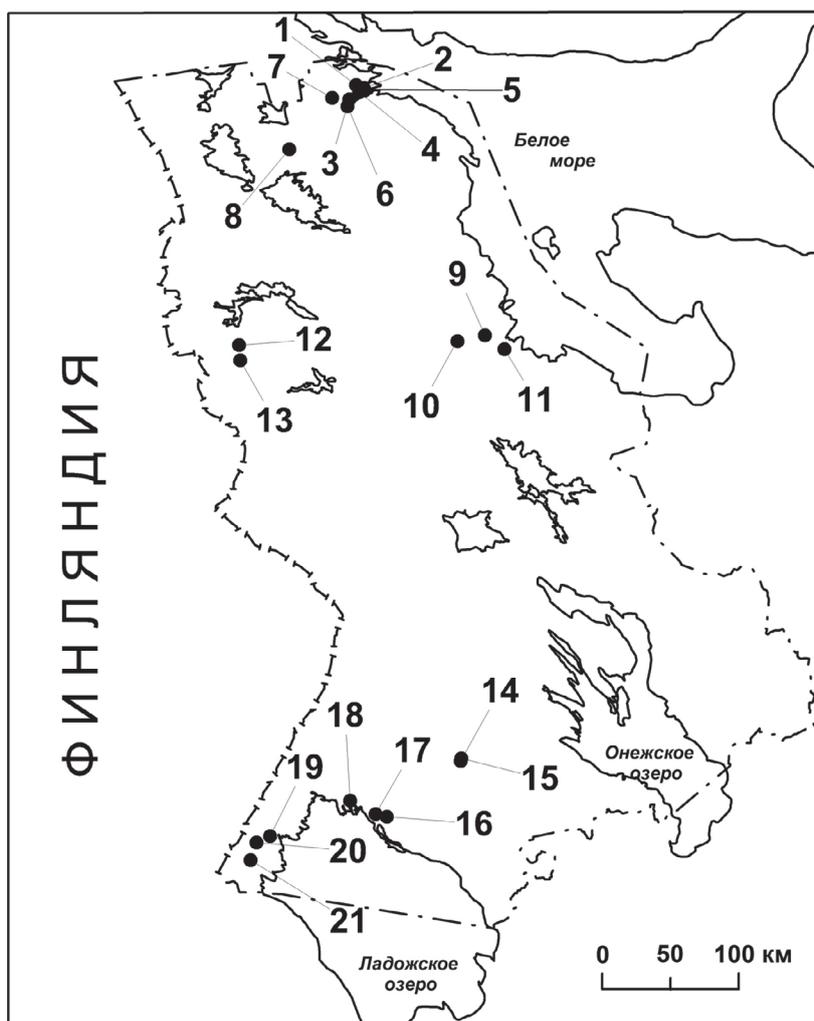


Рис. 1. Карта размещения месторождений полевошпатового сырья РК:

1 – Блинковые Варакки (пегматит); 2 – Уракка (пегматит); 3 – Малиновая Варакка (пегматит); 4 – Хетоламбина (пегматит); 5 – Кив-губа (пегматит); 6 – Чкаловское (пегматит); 7 – Нижнее Котозеро (анортозиты); 8 – Еletzzero (нефелиновые сиениты); 9 – Торлов Ручей (пегматит); 10 – Роза-Лампи (кварцевый порфир); 11 – Слюдяной Бор (пегматит); 12 – Корпанга (лептитовые гнейсы); 13 – Костомукша (геллефланта); 14 – Кюрьяла (пегматит); 15 – Брусничное (пегматит); 16 – Юка-Коски (гранит-рапакиви); 17 – Люпикко (пегматит); 18 – Линнаваара (пегматит); 19 – Яккима (пегматит); 20 – Кайвомяки (сиенит); 21 – Райвимяки (сиенит)

Fig. 1. Map of deposits of feldspar raw materials in the Republic of Karelia:

1 – Blinkovye Varakki (pegmatite); 2 – Urakka (pegmatite); 3 – Malinovaya Varakka (pegmatite); 4 – Khetolambina (pegmatite); 5 – Kiv-guba (pegmatite); 6 – Chkalovskoe (pegmatite); 7 – Nizhnee Kotozero (anorthosites); 8 – Eletyzero (nepheline syenite); 9 – Torlov Ruchei (pegmatite); 10 – Roza-Lampi (quartz porphyry); 11 – Slyudyanoi Bor (pegmatite); 12 – Korpanga (leptite gneiss); 13 – Kostomuksha (hallelinta); 14 – Kyuryala (pegmatite); 15 – Brusnichnoe (pegmatite); 16 – Yuka-Koski (rapakivi granite); 17 – Lyupikko (pegmatite); 18 – Linnaavaara (pegmatite); 19 – Yakkima (pegmatite); 20 – Kaivomyaki (syenite); 21 – Raivimyaki (syenite)

ются лимитируемыми показателями, основными из которых являются содержание калия, натрия и калиевый модуль – соотношение массовой доли K_2O/Na_2O . К вредным лимитируемым соединениям относятся Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 , $CaO+MgO$. В соответствии с ГОСТ 23034-78, суммарное содержание K_2O+Na_2O , в зависимости от отрасли потребления, должно составлять 7–14 % и более, а калиевый модуль – не менее 0,5–3. Содержание железа наиболее жестко ограничивается для фарфоро-фаянсо-

вого производства (до 0,5–0,3 %). Нефелин-полевошпатовые концентраты для стекольной промышленности должны содержать не более 0,3 % Fe_2O_3 . Практически аналогичны требования к составу полевошпатовой продукции, выпускаемой зарубежными предприятиями. Так, на обогатительной фабрике Кемио (Финляндия) производится полевой шпат для изготовления стекла и керамики, с содержанием K_2O+Na_2O 8,6–13 %, Fe_2O_3 0,09–0,12 % и K_2O/Na_2O от 0,9 до 1,7 [Щипцов, 2019a].

Таблица 1. Средний минеральный состав различных видов полевошпатового сырья РК

Table 1. Average mineral composition of various types of feldspar raw materials of the Republic of Karelia

Объекты Objects	Содержание, % Content, %							
	Микроклин Microcline	Плагиоклаз Plagioclase	Кварц Quartz	Биотит Biotite	Мусковит Muscovite	Амфибол Amphibole	Нефелин Nepheline	Апатит Apatite
Керамические пегматиты Ceramic pegmatites								
Пегматиты недифференцированные <i>Люпикко, Большое, Хепониemi, Кюрьяла, Брусничное</i> Undifferentiated pegmatites <i>Luupikko, Bolshoe, Kheponiemi, Kyuryala, Brusnichnoe</i>	11–65	16–49	18–31	1–3	1–5	н/о	н/о	н/о
Пегматиты дифференцированные <i>Хетоламбина, Чкаловское, Малиновая Варакка, Тэдино, оз. Постельное, оз. Кривое, Пиртима, Торлов Ручей, Слюдяной Бор, Длинная Ламбина, Плотная Ламбина</i> Differentiated pegmatites <i>Khetolambina, Chkalovskoe, Malinovaya Varakka, Tedino, oz. Postelnoe, oz. Krivoe, Pirtima, Torlov Ruchej, Slyudyanoi Bor, Dlinnaya Lambina, Plotnaya Lambina</i>	65–96	1–42	1–31	0,1–3	0,1–32	н/о	1–4	н/о
Нетрадиционное полевошпатовое сырье Non-traditional feldspar raw materials								
Граниты-рапакиви <i>Салминский массив</i> Rapakivi granite <i>Salminkii massif</i>	ортоклаз 37–45	15–19	30–46	2–5	н/о	3	н/о	н/о
Граниты аплитовидные <i>Озеро Долгое</i> Granites aplite <i>Lake Dolgoe</i>	49–52	7–18	31–37	1–3		н/о	н/о	1–4
Анортозиты <i>Нижнее Котозеро</i> Anorthosites <i>Nizhnee Kotozero</i>	н/о	77–95	0–5	0–2	н/о	2–18	н/о	0,09
Сиениты нефелиновые <i>Нижнее (Елетьозеро)</i> Nepheline syenite <i>Eletyozero</i>	40–66	3–22	н/о	3–12	н/о	0–26	0–26	0–0,5
Сиениты барий-стронциевые <i>Элисенаара</i> Barium-strontium syenite <i>Elisenvaara massif</i>	13–80		0–4	6–40	н/о	1–50	н/о	1–15
Кварцевые порфиры <i>Роза-Лампи</i> Quartz porphyry <i>Roza-Lampi</i>	45–51	1–4,5	35–50	0–3	4–10	н/о	н/о	н/о
Геллефлинты <i>Костомукша</i> Halleflinta <i>Kostomuksha</i>	55–65	20–30	5–10	н/о		н/о	0,03	н/о

Выбор метода и технологии обогащения зависит напрямую от текстурно-структурных, минералогических особенностей сырья и стабильности состава (минерального и химического) в пределах месторождения. Значительными минералогическими вариациями характери-

зуются керамические пегматиты – от существенно микроклинового до плагиоклазового и плагиоклаз-микроклинового состава. В связи с этим отмечается нестабильность и химического состава исходного сырья в пределах месторождения. А также и основного минераль-

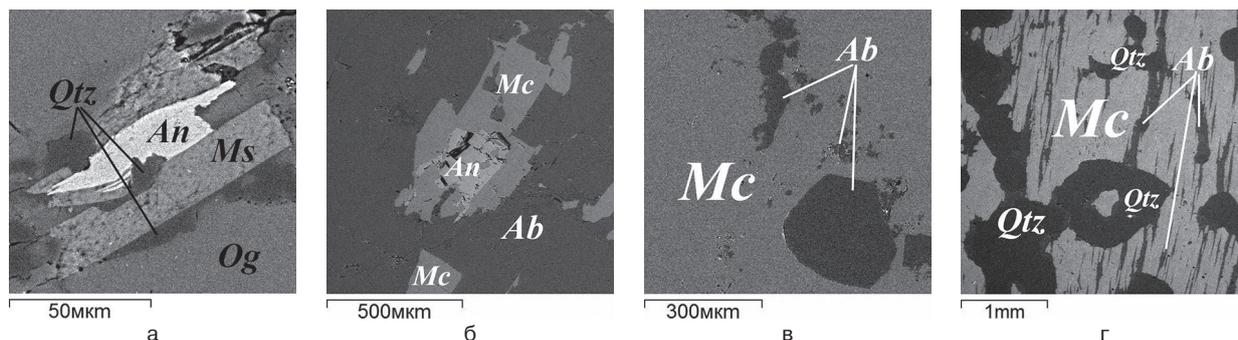


Рис. 2. Микроструктурные особенности пегматитов месторождений: а – Малиновая Варакка, б, в – Длинная Ламбина, г – Кюрьяла. Изображение СЭМ VEGA II LMU.

Mc – микроклин, Ab – альбит, Og – олигоклаз, An – анортит, Qtz – кварц, Ms – мусковит

Fig. 2. Microstructural features of pegmatites deposits: а – Malinovaya Varakka, б, в – Dlinnaya Lambina, г – Kyuryala. Image of SEM VEGA II LMU.

Mc – microcline, Ab – albite, Og – oligoclase, An – anorthite, Qtz – quartz, Ms – muscovite

ного компонента – полевого шпата (табл. 1, рис. 2), что связано, как правило, с изоморфными замещениями или микроминеральными включениями. Например, на месторождении Кюрьяла содержание Fe_2O_3 варьирует от 0,08 до 0,14 %, K_2O – от 9 до 12 %, Na_2O – от 2,5 до 3 %.

Используя для обогащения керамических пегматитов экологически щадящую технологию электромагнитной сепарации, можно получить кондиционные концентраты различного состава (табл. 2) и назначения.

Сводным балансом запасов полевошпатового сырья по Карелии учитываются 19 ме-

сторождений пегматита [Государственный..., 2015], некоторые из них более чем за 80 лет частично выработаны. На территориях, оставшихся после отработки пегматитовых месторождений, скопились значительные объемы отвалов, в которые выводились вскрышные породы, жильная пегматитовая масса различной крупности и отсева – материал менее 20 мм. В результате промышленной оценки отвалов горных пород мусковитовых и керамических пегматитов Лоухского района [Родионов, 2007] были геометризованы и подсчитаны ресурсы мусковита и кварца по месторождениям северной группы Малиновая Варакка, Плотина, Тэди-

Таблица 2. Средний химический состав концентратов из различных типов полевошпатовых пород Карелии

Table 2. Chemical composition of concentrates from various types of feldspar rocks of Karelia

Обогащаемая порода Enriched rock		Состав концентрата, содержание, вес. % Concentrate composition, the content, weight. %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O
Пегматиты Pegmatites	плаггиомикроклиновый plagiomicroclin	69,00	17,35	0,09	0,07	0,35	4,15	9,00	2,15
	микроклиновый microcline	71,83	15,48	0,10	0,10	0,35	2,30	9,40	4,10
	плаггиоклазовый plagioclase	77,45	13,25	0,16	0,04	0,40	4,70	2,80	0,58
Анортозиты Anorthosites		52,33	29,39	0,16	0,008	11,87	4,50	0,24	0,44
Сиениты Syenite	щелочные alkaline	64,36	20,43	0,17	н/о	н/о	6,77	6,93	1,02
	барий-стронциевые barium-strontium	60,38	21,26	0,13	0,09	1,38	5,67	6,20	1,1
Геллефлинта Halleflinta		73,65	15,33	0,22	0,52	2,92	6,56	0,35	0,05
Кварцевые порфиры Quartz porphyry		76,8	11,19	0,20	0,64	0,28	0,68	7,60	11,2
Гранит-рапакиви Rapakivi-granite		77,08	11,85	0,19	0,33	1,19	3,22	5,91	1,85

но. Сотрудниками группы обогащения Института геологии проведено ревизионное обследование и технологическое опробование на этих объектах. Комплексная оценка потенциала георесурсов слюдяных отвалов показала, что они сложены фракцией менее 20 мм на 50–60 %. При обогащении минеральной отвальной массы с использованием методов гравитации (гидравлического сепаратора и концентрации на столах) и последующей магнитной сепарации получены мусковитовый концентрат и кварц-полевошпатовый продукт. Корректируя технологическую схему, возможно выделить отдельно кварцевый и полевошпатовый концентраты. Минералого-технологические исследования кварца показали, что основная масса минеральных включений в нем однотипна, представлена мусковитом, гидроксидами железа, размером от микронных долей до миллиметровых. Среди газовой-жидких включений преобладают включения с высоким процентом газовой фазы. Для повышения сортности кварца требуется его глубокое обогащение с использованием как минимум магнитной сепарации и очистки в кислотах [Скамницкая и др., 2015].

Пегматитовые тела месторождений Улягской группы (Северное Приладожье), числящиеся в качестве резервных баз [Государственный..., 2015], сложены слабо- или недифференцированным микроклин-плагиоклазовым пегматитом (табл. 1; рис. 2, г). При ручной рудоразработке выделяется пегматит существенно микроклиновый (калиевый модуль > 2) и существенно плагиоклазовый пегматит (калиевый модуль ≤ 1).

Более стабильны по составу и качеству полевошпатовой составляющей породы различного генезиса, относимые к нетрадиционным видам (табл. 1). Эти объекты характеризуются важным преимуществом – достаточными запасами и относительно легкой обогатимостью сырья. Наиболее детально минералого-технологические особенности нетрадиционного полевошпатового сырья изучены на примере гранитов-рапакиви (Салминский массив), вскрышных пород Костомукшского железорудного района, кварцевых порфиров (Роза-Лампи), сиенитов (Елетьозеро и Элисенваара) и анортозитов (Нижнее Котозеро).

Граниты-рапакиви

В пределах Салминского массива анортозит-рапакивигранитного комплекса с возрастом 1547–1530 млн лет перспективными на полевошпатовое сырье являются граниты-

рапакиви, благодаря соответствующему минеральному составу и значительным площадям, которые они занимают [Ларин, 2011; Ладожская..., 2020]. Широко распространены средне- и крупнозернистые разновидности – пиртерлиты (рис. 3, а), в которых плагиоклазовой оболочкой окаймлены не более 10 % порфировидных включений калиевого полевого шпата. Электронно-микроскопическое изучение показало, что среди минеральных включений в полевошпате присутствует значительное количество редкоземельных минералов: монацита, ортита, паризита и др., а также циркона, в отдельных зернах которого содержание оксида ниобия достигает 3,2 %. Отмечается присутствие апатита, в отдельных случаях содержащего до 2,5 % Ce_2O_3 и 2,32 % Nd_2O_3 . Циркон, апатит, оксиды щелочноземельных металлов используются в производстве керамики в качестве добавок-минерализаторов [Августиник, 1975; Гузман, 2003]. Их присутствие в исходном полевошпатовом сырье может способствовать улучшению эксплуатационных свойств конечной продукции.

Широкое распространение в породах процессов перекристаллизации приводит к увеличению доли кварца (около 35 %) и калиевого полевого шпата (до 60 %) (рис. 3, б), с образованием относительно легкообогатимых разновидностей. Минеральные включения, имеющие микронные размеры, в процессе обогащения практически не удаляются, что может влиять на изменение белизны получаемых в дальнейшем керамических изделий. Тем не менее полевошпатовые концентраты (табл. 2) характеризуются высоким калиевым модулем (K_2O/Na_2O от 1,85 до 2,65) и соответствуют требованиям, предъявляемым к полевошпатовым материалам для различных производств.

Анортозиты

В архейском комплексе Беломорского подвижного пояса на участке Котозеро (Лоухский район, оз. Нижнее Котозеро) выделяются крупно-, среднезернистые анортозиты, сложенные на 70–95 % средним плагиоклазом (табл. 1), состав которого варьирует от андезина до лабрадора (рис. 3, в, г). В подчиненном количестве присутствует амфибол. Несмотря на широкую вариацию составов плагиоклазов в пределах крайних членов изоморфного ряда и структурные особенности анортозитов, в промышленных целях может использоваться как необогащенная порода, так и анортозитовый концентрат [Щипцов и др., 2004; Скамницкая, Бубнова, 2012]. Технология обогащения анортозитового

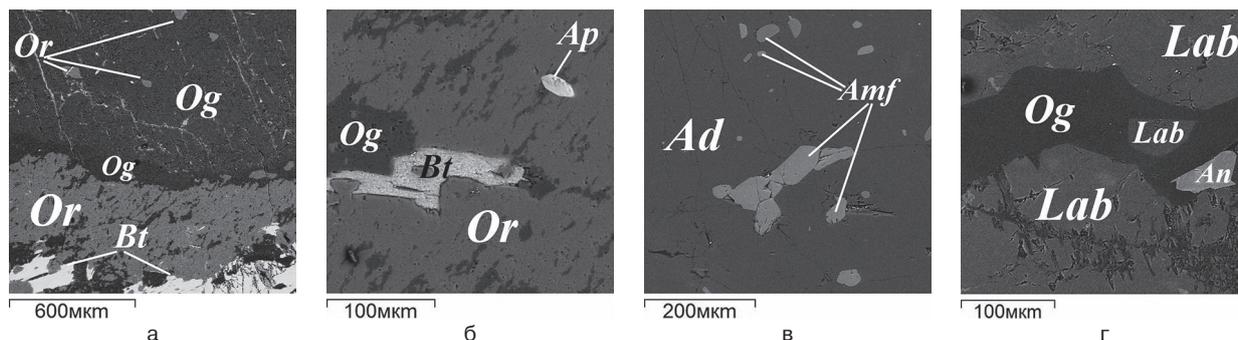


Рис. 3. Микроструктурные особенности гранитов-рапакиви (а, б) и анортозитов (в, г). Изображение СЭМ VEGA II LMU.

Or – ортоклаз, Og – олигоклаз, Ad – андезин, Lab – лабрадор, An – анортит, Bt – биотит, Ap – апатит, Amf – амфибол

Fig. 3. Microstructural features of rapakivi granites (a, б) and anorthosites (в, г). Image of SEM VEGA II LMU.

Or – orthoclase, Og – oligoclase, Ad – andesine, Lab – labrador, An – anortite, Bt – biotite, Ap – apatite, Amf – amphibole

сырья, основанная на сухой магнитной сепарации, обеспечивает получение маложелезистых плагиоклазовых концентратов. Так, в плагиоклазовом продукте крупностью 0,315–0,140 мм, полученном из анортозитов, содержание железа составляет 0,16 % (табл. 2). Маркетинговые исследования и опытные технологические испытания позволили установить возможность использования необогащенной горной породы и анортозитового концентрата в качестве сорбента катионов тяжелых цветных металлов, механической загрузки в минеральных фильтрах, основы для получения твердофазных ком-

позиционных пигментов, составляющей шихты декоративных стекол, минеральной ваты. Предлагаемая технологическая схема обогащения, с учетом комплексности использования минерального сырья (рис. 4), позволяет гибко реагировать на выпуск продуктов в соответствии с рыночным спросом. Введя в рудоподготовительный цикл после крупного дробления дополнительное грохочение, можно получать декоративный щебень необходимой крупности.

Геолого-технологические исследования показали принципиальную возможность обогащения анортозитов с получением плагиокла-

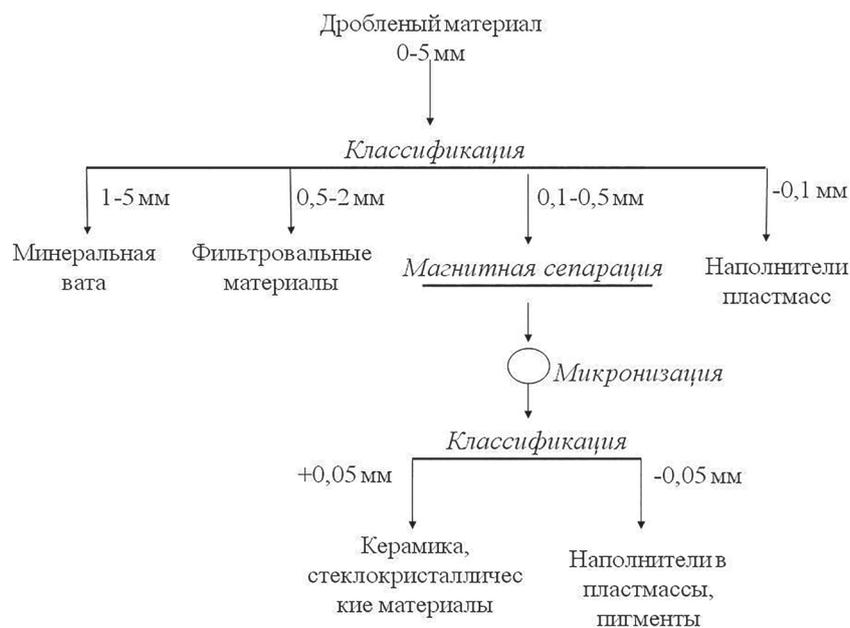


Рис. 4. Принципиальная технологическая переработка анортозитов проявления Нижнее Котозеро

Fig. 4. Basic technological processing of anorthosites of the Nizhnee Kotozero occurrence

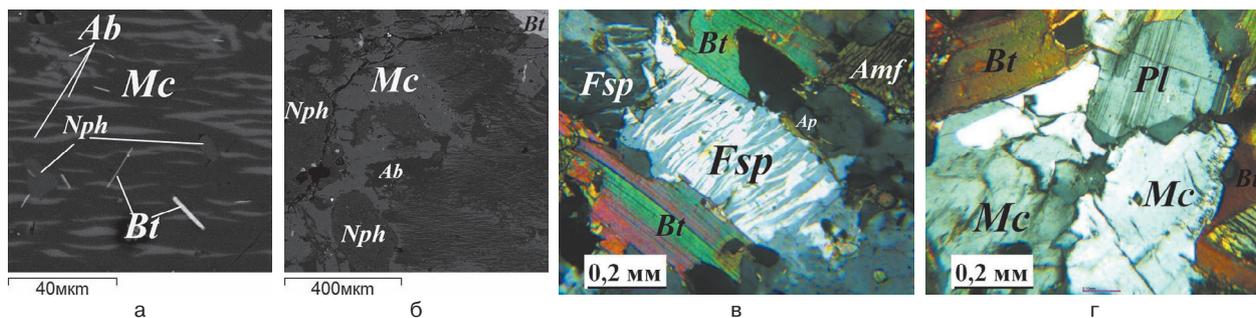


Рис. 5. Микроструктурные особенности сиенитов: а, б – нефелиновые сиениты Елетьозеро, уч. Северный (изображение СЭМ VEGA II LMU); в, г – сиениты Элисенваара (фото шлифов):

Mc – микроклин, Ab – альбит, Nph – нефелин, Bt – биотит, Amf – амфибол, Fsp – полевошпат, Pl – плагиоклаз

Fig. 5. Microstructural features of syenite: а, б – the Eleytozero nepheline syenites (SEM image of VEGA II LMU); в, г – Elisenvaara syenites (thin section photo):

Mc – microcline, Ab – albite, Nph – nepheline, Bt – biotite, Amf – amphibole, Fsp – feldspar, Pl – plagioclase

зового (лабрадорского) концентрата высокого качества. Предварительные расчеты прогнозных ресурсов предполагают, что запасы достаточны для организации добычи с годовой производительностью карьера до 100 тыс. тонн и более.

Нефелиновые и щелочные сиениты

Нефелиновые и щелочные сиениты во многих странах широко используются взамен полевошпатового сырья в качестве флюса в составе керамических масс и алюмосиликатного компонента в стекольном производстве, а также в качестве наполнителя в красках, пластиках, герметиках и пр. Преимуществом этих пород перед традиционными источниками полевошпатового сырья является более высокое содержание в них щелочных оксидов и глинозема, выдержанное качество и значительные запасы в пределах отдельных месторождений. Ведущим мировым производителем нефелиновых сиенитов является Sibelco Nordic Mine, владеющая горно-обогатительным комплексом по добыче и переработке руды норвежского месторождения Stjerneoy [Щипцов, 2019а]. В результате обогащения сырья, содержащего в среднем 56 % микроклина и 34 % нефелина, с использованием магнитной сепарации и воздушной классификации получают концентраты керамического и стекольного сортов.

Щелочные и нефелиновые сиениты миацитового типа Елетьозерского массива приурочены к его центральной части [Пекки, Скамницкая, 1977; Щипцов и др., 2008б; Щипцов, 2019б]. Особое внимание привлекают новые данные о возрасте дифференцированного массива, в составе которого выделяются щелочные породы (нефелиновые сиениты и др.). Их

возраст составляет 2070–2086 млн лет [Шарков и др., 2015]. Отдельные участки массива отличаются значительными вариациями минерального состава. Наименее изменчивы сиениты на Северном участке, с содержанием в вес. %: микроклина – 55–60, плагиоклаза, преимущественно альбита, – 18–22 и незначительным нефелина – 1–1,5 (рис. 5, а, б).

Несмотря на непостоянство состава и структуры, присутствие микрометровых минеральных включений в полевых шпатах (рис. 5, а), при обогащении с использованием многостадийной электромагнитной сепарации получены высококачественные концентраты, состоящие на 50–60 % из микроклина, на 40–45 % из альбита и нефелина. Сумма оксидов щелочных металлов в концентратах – около 13,92 %, содержание оксидов железа – менее 0,15 %, Al_2O_3 – 21,8 %, $CaO+MgO$ – 0,83 %. Химический состав нефелин-полевошпатовых концентратов сопоставим с качеством продукции, получаемой из нефелиновых сиенитов месторождения Stjerneoy. В данных концентратах, в зависимости от сорта, суммарное содержание Na_2O+K_2O = 16,9 %, содержание Fe_2O_3 составляет 0,10–0,12 % [Щипцов, 2019а]. Укрупненные испытания, проведенные в институте «Механобр» и в Финляндии, в лаборатории Partek [Каменева, Скамницкая, 2003], подтвердили вывод о легкой обогатимости сиенитов Елетьозера и возможности получения концентратов высокого качества. Анализ химического состава исходных и обогащенных Елетьозерских сиенитов, а также технологические исследования, в том числе и отходов обогащения [Ильина, Лебедева, 2010], показывают высокую перспективность сырья для использования в производстве электрофарфора, стекла, стройкерамики, глазурей, абразивов.

Сиениты барий-стронциевые

Минерагеническая нагрузка интрузивов Элисенваарско-Вуоксинского шошонитового комплекса характеризуется наличием крупных проявлений Кайвомякское и Райвимаекское, являющихся апикальными выступами одного более крупного – Элисенваарского массива, предположительно, общей площадью около 30 км² [Хазов, 1982; Геология..., 1987]. В калиевых щелочных породах Западного Приладожья максимальное содержание полевого шпата достигает 80–95 % (табл. 1). Характерной особенностью является высокое содержание фосфора, стронция, бария, редкоземельных элементов, фтора. Полевой шпат в рассматриваемых породах представлен барий-стронций-содержащим натрий-калиевым микропертитом

(рис. 5, в). Иногда в количестве менее 5 % в породах присутствует плагиоклаз (рис. 5, г). Породы массивов Райвимайки и Кайвомяйки могут служить источником полевошпатового сырья (табл. 2), обогащенного стронцием и барием (содержание BaO 1–4 %, SrO 1–2 %).

В группе обогащения Института геологии [Бархатов, Скамницкая, 1986; Скамницкая, Бархатов, 1989] были проведены испытания обогатимости руды по различным технологическим схемам, ориентированным на комплексную переработку сырья. По наиболее рациональной магнито-флотационной технологии (рис. 6) возможно получение барий-стронций-содержащего полевошпатового концентрата (извлечение 67–80 %, содержание BaO+SrO – 3–9 %), высококачественного апатитового концентрата при извлечении от 55 до 93 %. Пере-

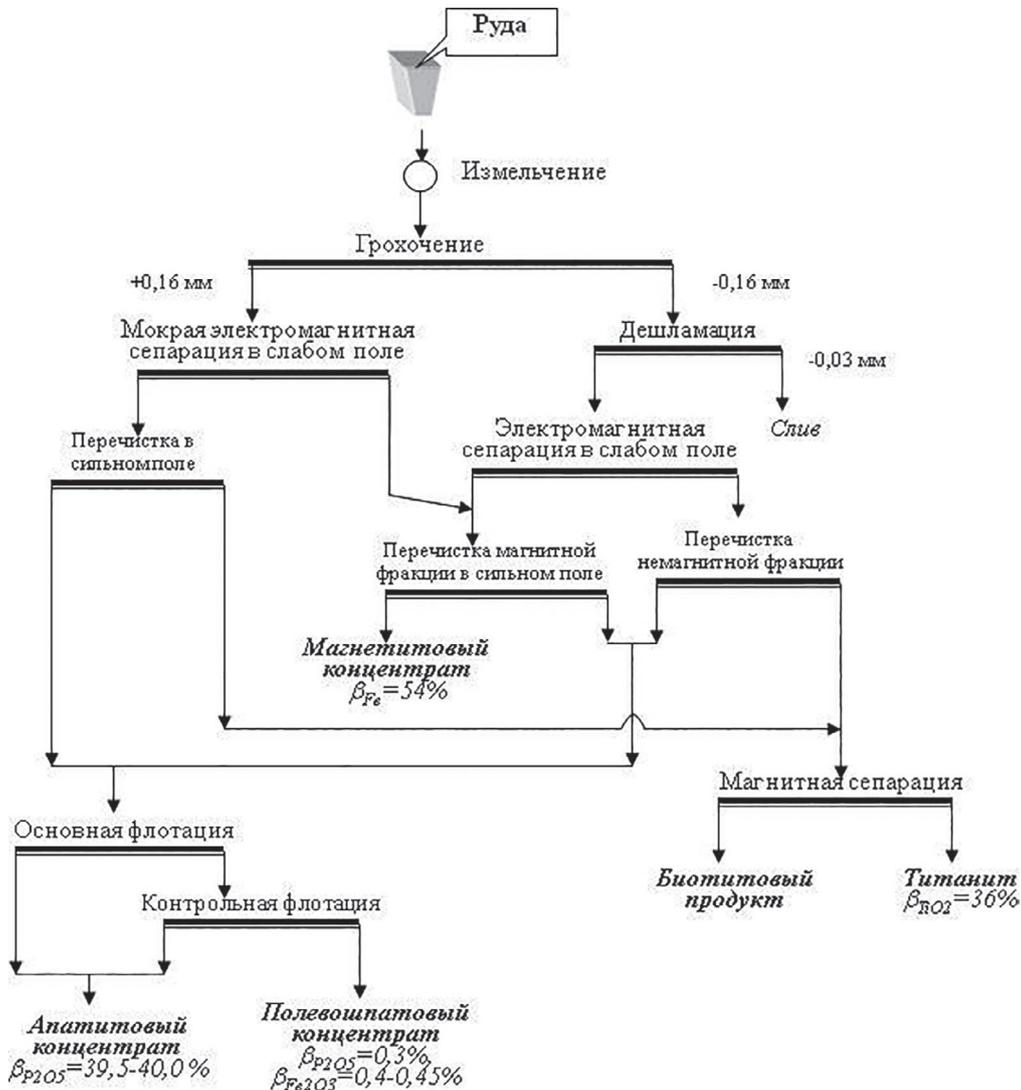


Рис. 6. Схема обогащения сиенитов Элисенваарского массива

Fig. 6. Scheme of the Elisenvaara ore enrichment

чистка промпродуктов в сильном магнитном поле позволяет выделить титанитовый, магнетитовый и биотитовый продукты.

В производстве фарфора, как хозяйственного, так и специального назначения, в качестве добавок широко используются оксиды щелочноземельных металлов (в т. ч. Ва и Sr), позволяющие снизить вязкость расплава стеклофазы и улучшить термостойкость черепка. Введение минеральной добавки (апатита) в количестве 3 % снижает температуру спекания хозяйственного фарфора на 50 °С и повышает прочность на 40 %, поэтому рекомендуется как равноценный заменитель костяной золы в костяном фарфоре [Августиник, 1975]. Качество получаемых полевошпатовых концентратов позволяет говорить о возможности их использования в соответствии с требованиями ГОСТов для производства керамических изделий специального назначения, термо- и химически устойчивых стекол.

Проведенные опытно-промышленные испытания подтвердили пригодность полевошпатовых концентратов в качестве сырья для производства тарного и сортового стекла, как близких по свойствам к аналогичным промышленным. При спекании керамических масс образуются матовые, чистые, без «мушек», со слегка сероватым оттенком спеки. Исследования электрических свойств, термического коэффициента линейного расширения, а также рН суспензий [Ильина, Клабуков, 2003], полученных в результате обогащения нетрадиционных видов кварц-полевошпатового сырья, и сравнение их с традиционными для керамики пегматитами показали, что наиболее перспективным сырьем для электрофарфора можно считать Элисенваарские сиениты, так же как

и в качестве наполнителя в строительных и лакокрасочных композициях.

Кварцевые порфиры

Лейкократовая разновидность кварцевых порфиров мезоархея в пределах месторождения Роза-Лампи образует два штока и является полезным ископаемым [Белов и др., 1973; Пекки, Разоренова, 1977; Голованов и др., 2006]. Состав кварцевых порфиров месторождения Роза-Лампи достаточно выдержанный (табл. 1), при характерном высоком содержании K_2O (около 7,6 %) и низком (от десятых долей до 1,5 %) содержании Na_2O .

Слюды, представленные преимущественно мусковитом (рис. 7, а), эффективно удаляются полиградиентной сепарацией [Скамницкая, Бубнова, 2013]. Кварцполевошпатовые концентраты характеризуются калиевым модулем 7–9 и удовлетворительным содержанием Fe_2O_3 – 0,15 %, Al_2O_3 – 14,4 %. В связи с высокой кислотостойкостью (97,8–99,2 % в 20% HCl) кварцевые порфиры могут использоваться в качестве наполнителей кислотоупорных растворов и бетонов. В лабораторных и опытно-промышленных условиях на основе кварц-полевошпатового концентрата Роза-Лампи (табл. 2) получены декоративные глушеные стекла различных оттенков, фарфоровые изделия с высокими физико-механическими свойствами.

Анализ образцов лейкократовых кварцевых порфиров на сканирующем электронном микроскопе показал повсеместное присутствие включений циркона (рис. 7, б). Это может положительно сказаться на свойствах получаемой продукции, т. к. циркон широко используется

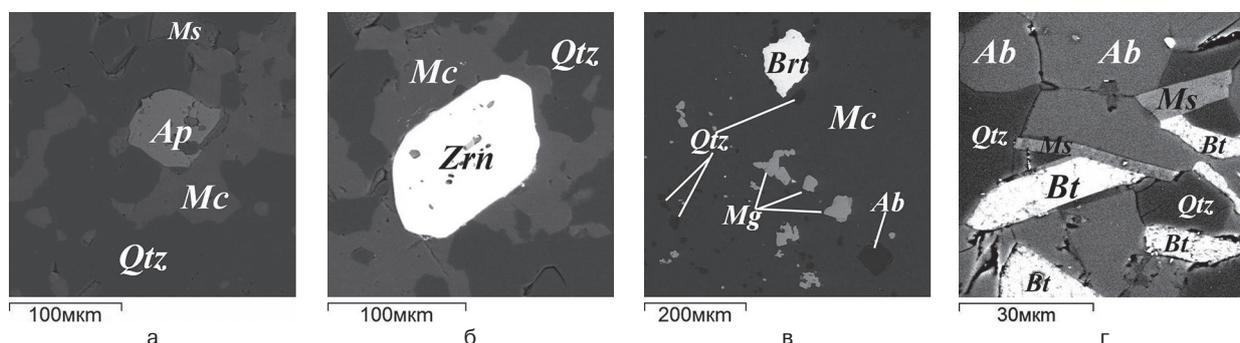


Рис. 7. Микроструктурные особенности вулканогенных пород: а, б – кварцевых порфиров; в, г – калиевой и натровой геллефлинт. Изображение СЭМ VEGA II LMU.

Mc – микроклин, Qtz – кварц, Ms – мусковит, Ap – апатит, Zrn – циркон, Rt – рутил, Ab – альбит, Mg – магнетит

Fig. 7. Microstructural features of volcanogenic rocks: а, б – quartz porphyry; в, г – potassium and sodium helleflint. Image of SEM VEGA II LMU.

Mc – microcline, Qtz – quartz, Ms – muscovite, Ap – apatite, Zrn – zircon, Rt – rutile, Ab – albite, Mg – magnetite

в производстве технической керамики как добавка [Гузман, 2003] в массу высоковольтного и химического фарфора для повышения эксплуатационных характеристик.

Геллефлинты, лептитовые сланцы и плагиопорфиры

На Костомукшском железорудном месторождении среди вскрышных пород лопийского осадочно-вулканогенного комплекса наибольшую ценность представляют геллефлинты – кварц-полевошпатовые породы риолит-дацитового состава калиевой (рис. 7, в) и натриевой (рис. 7, г) разновидностей. В натриевой разновидности, составляющей более 90 % от общего объема породы, сумма Na_2O+K_2O составляет 5,95 %, а калиевый модуль $K_2O/Na_2O = 0,03$. Содержание породообразующих минералов варьирует в относительно узких пределах (табл. 1). Плагиоклаз представлен преимущественно альбитовой и реже олигоклазовой разновидностями, присутствуют ортоклаз и микроклин в количестве не более 1 %. Основную массу примесей составляют слюды, преобладающий размер которых определяет эффективность обогащения. Наиболее трудноудаляемые включения биотита (рис. 7, г) имеют микрометровые размеры, что сказывается на увеличении содержания оксида железа в полевошпатовом продукте до 0,7 %. Кварц-полевошпатовый концентрат, полученный по различным технологическим схемам с использованием магнитной сепарации, содержит 0,1–0,2 % Fe_2O_3 при калиевом модуле около 1 (табл. 2). Выход концентрата – 70–75 %. В результате многолетних комплексных исследований показано, что геллефлинты,

как без обогащения, так и концентраты, имеют широкий спектр областей использования – производство керамики и стекла различных сортов, глазури, эмалей, абразивов и др. [Вскрышные..., 1983]. Положительный результат показали исследования геллефлинты крупностью 0,5–2,0 мм в качестве минерального фильтрующего материала [Скамницкая, Бубнова, 2008].

На сегодняшний день ОАО «Карельский окатыш» помимо Костомукшского обрабатывает Корпангское месторождение, на трех карьерах которого проводятся практически все горнодобычные работы. Вскрышные породы здесь сложены метаморфизованными лептитовыми гнейсами и плагиопорфирами. Обогащенные лептиты пригодны для производства стекла и низкотемпературного фарфора. Кроме того, по аналогии с геллефлинтами они могут использоваться для получения каменного литья с высокой термо- и кислотостойкостью (табл. 3).

Несмотря на пригодность этих пород для производства различных строительных материалов, только часть из них идет на изготовление щебня, который практически полностью используется для внутренних потребностей ГОКа [Шишков, 2020]. Существующие отвалы вскрышных пород, по сути, представляют собой техногенное месторождение.

Заключение

Республика Карелия, обладая значительными запасами как традиционного пегматитового, так и нетрадиционного полевошпатового сырья, имеет достаточную сырьевую базу, опыт

Таблица 3. Химический состав полевошпатовых пород и концентратов (мас. %)

Table 3. Chemical composition of feldspar rocks and concentrates (mass. %)

Окислы Oxides	Корпанга, лептитовые гнейсы Korpanga, leptite gneiss		Костомукша, геллефлинта Kostomuksha, hallefiinta	
	Исходная порода Ore	Концентрат Concentrate	Исходная порода Ore	Концентрат Concentrate
SiO ₂	67,68–69,58	74–75	67,89–71,89	71–72
TiO ₂	0,11–0,14	0,1–0,2	0,03–0,14	0,02–0,03
Al ₂ O ₃	14,93–15,38	15,75–16,0	15,30–18,91	16,02–16,5
Fe ₂ O ₃	1,2–1,39	0,16–0,25	0,02–1,92	0,14–0,16
FeO	2,30–3,52	н/о	0,11–2,70	н/о
MnO	0,031–0,043	0,1	0,01–0,17	0,01
MgO	1,41–1,51	н/о	0,28–1,30	0,1–0,18
CaO	2,80–2,87	2,1–2,5	0,74–2,70	1,75–1,8
Na ₂ O	5,00–5,15	6–6,5	4,25–6,87	6,73–7,0
K ₂ O	1,11–1,16	0,30	0,37–3,06	0,2–0,3
Na ₂ O/K ₂ O	< 1	< 1	< 1	< 1

промышленной переработки и получения товарных полевошпатовых концентратов. В связи с возрастающим вниманием к арктическим регионам в Республике Карелия выгодно отличаются территории Лоухского, Кемского и Беломорского районов, включенных в состав Российской Арктики Указом Президента Российской Федерации от 27.06.2017 г. № 287. Транспортная доступность, умеренно суровые климатические условия, глубокая изученность минерально-сырьевой базы открывают широкие перспективы для восстановления и дальнейшего развития горнопромышленного комплекса в Карелии [Щипцов, Иващенко, 2018]. На сегодняшний день, по данным Федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия [Республика..., 2019], в сфере полезных ископаемых действующие предприятия связаны с добычей и переработкой гранитов, песчаников, песков, используемых в качестве строительных материалов (щебень, блочный камень).

Рациональное и комплексное использование месторождений полезных ископаемых является одной из важнейших проблем горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. В настоящее время остро обсуждается вопрос, связанный с применением отходов горнодобывающих производств. Отходы недропользования составляют подавляющую часть отходов, образованных и образующихся в настоящее время на территории России. Этот вопрос включен в сферу актуальных проблем неслучайно, так как проект Федерального закона «О внесении изменений в закон РФ «О недрах» направлен на согласование в заинтересованные органы исполнительной власти по инициативе правительства РФ [Шишков, 2020]. В целом горнопромышленники России стоят на пороге реорганизации недропользования с учетом более рационального, комплексного освоения месторождений полезных ископаемых, охраны недр и охраны окружающей среды в соответствии с требованиями федеральных законов РФ и нормативной правовой документацией.

Комплексное и рациональное использование недр с максимальным вовлечением в переработку непосредственно полевошпатового сырья, вскрышных пород и отходов производства позволит значительно улучшить экономические показатели разработки месторождений, деятельности горно-обогатительных производств. Восстановление основных потребителей полевого шпата – стекольной и керамической отраслей промышленности, растущие темпы строительства, переход на активное использование

собственной минерально-сырьевой базы, – все это создает реальные перспективы развития промышленного производства полевых шпатов в Республике Карелия.

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

Литература

Августиник А. И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.

Бархатов А. В., Скамницкая Л. С. Особенности обогащения и комплексного использования апатитовых руд Южной Карелии // Комплексное и рациональное использование минерального сырья Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1986. С. 24–40.

Белов Ю. И., Бреслер С. М., Пекки А. С., Кулма-ла Т. К. Кварцевые порфиры Карелии – новый источник полевошпатового сырья // Разведка и охрана недр. 1973. № 6. С. 7–10.

Борисов П. А. Керамические пегматиты СССР и их заменители // Отв. ред. К. О. Кратц. М.: АН СССР, 1954. 270 с.

Вскрышные породы Костомукшского железорудного месторождения и пути их использования в народном хозяйстве. Петрозаводск: Карелия, 1983. 367 с.

Геология Карелии / Отв. ред. В. А. Соколов. Л.: Наука, 1987. 230 с.

Голованов Ю. Б., Михайлов В. П., Щипцов В. В., Родионов В. С. Полевошпатовое сырье // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Петрозаводск: Карелия, 2006. С. 85–104.

Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Полевошпатовое сырье. Вып. 52. М., 2015.

Гродницкий Л. Л. Гранитные пегматиты Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 294 с.

Гузман И. Я. Химическая технология керамики. М.: Стройматериалы, 2003. 496 с.

Ильина В. П., Лебедева Г. А. Использование отходов обогащения щелочных сиенитов Елетьозерского месторождения для изготовления керамических плиток // Стекло и керамика. 2010. № 7. С. 3–6.

Ильина В. П., Клабуков Б. Н. Полевошпатовое сырье Карелии и сравнительный анализ результатов изучения его физико-технологических свойств // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 109–113.

Каменева Е. Е., Скамницкая Л. С. Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 230 с.

Ладожская протерозойская структура (геология, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 435 с.

Ларин А. М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы. СПб.: Наука, 2011. 402 с.

Пекки А. С., Скамницкая Л. С. Нефелиновые сиениты Елетьозера – перспективный источник полевошпатового сырья // Минеральное сырье Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1977. С. 39–47.

Пекки А. С., Разоронова В. И. Месторождения полевошпатового сырья Карелии. Л.: Наука, 1977. 152 с.

Пекки А. С., Кулмала Т. К., Скамницкая Л. С., Бархатов А. В. Резервная база кварц-полевошпатового сырья в Северном Приладожье // Комплексное и рациональное использование микроклинового сырья Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1986. С. 3–24.

Пекки А. С., Скамницкая Л. С., Кулмала Т. К. О возможности добычи микроклиновых пегматитов на месторождении Брусничное. Опер.-информ. материалы за 1976 г. Петрозаводск, 1976. С. 42–47.

Республика Карелия в цифрах 2019. Краткий статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: [https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02471\(1\).pdf](https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02471(1).pdf) (дата обращения: 20.04.2020).

Родионов В. С. Отчет «Оценка ресурсного потенциала нераспределенного фонда недр месторождений Чупино-Лоухской группы с целью оценки целесообразности возобновления добычи слюды мусковита и оценки возможности многоцелевого использования пород, слагающих горные отвалы этих месторождений». Чупа, 2007. 130 с.

Скамницкая Л. С., Бархатов А. В. Потенциальное барий-стронцийсодержащее полевошпатовое сырье // Физико-химические основы переработки бедного природного сырья и отходов промышленности при получении жаростойких материалов. Сыктывкар, 1989. 35 с.

Скамницкая Л. С., Бархатов А. В., Кулмала Т. К., Марьина С. П. Применение новой технологии обогащения в получении микроклиновых концентратов из пегматитов // Результаты технологических исследований 1987–1988 гг. Петрозаводск, 1988.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Изучение возможностей использования отходов щебеночных карьеров в качестве природных минеральных фильтров // Строительные материалы. 2008. № 5. С. 42–44.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Композиты на основе анортозитов и их свойства // Строительные материалы. 2012. № 1. С. 64–69.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Особенности состава и структуры кварцевых порфиров месторождения Роза-Лампи как источника полевошпатового сырья // Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 152–154.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Дубинчук В. Т., Раков Л. Т. Научное обоснование потенциала кварца из техногенных отвалов слюдоносных пегматитов (Карелия) // Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 90–99.

Хазов Р. А. Металлогения Ладожско-Ботнического геоблока Балтийского щита. Л.: Наука, 1982. 192 с.

Шарков Е. В., Беляцкий Б. В., Богина М. М., Чистяков А. В., Щипцов В. В., Антонов А. В., Лепехина Е. Н. Кристаллогенезис и возраст циркона из щелочных и основных пород Елетьозерского магматического комплекса, Северная Карелия // Петрология. 2015. Т. 23, № 3. С. 285–307. doi: 10.7868/S0869590315030061

Шишков А. Ю. Новые перспективы применения отходов горнодобывающих производств Карело-Кольского региона // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 1. С. 90–97.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Данилевская Л. А., Савицкий А. И., Букчина О. В. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (Северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 151–163.

Щипцов В. В. Промышленные минералы Фенноскандинавского щита и их роль в развитии минерально-сырьевой базы мировой экономики // Минералогическая оценка новых видов минерального сырья. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019а. С. 7–30.

Щипцов В. В. Технологическая оценка минеральных ресурсов Карелии // Обогащение руд. 2007. № 1. С. 35–39.

Щипцов В. В., Иващенко В. И. Минерально-сырьевой потенциал арктических районов Республики Карелия // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 2. С. 3–33. doi: 10.17076/geo775

Щипцов В. В., Лебедева Г. А., Ильина В. П. Перспективы использования минерально-сырьевой базы Карелии для производства строительных материалов // Строительные материалы. 2008а. № 5. С. 8–10.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Промышленные минералы Елетьозерского массива и их аналоги на Фенноскандинавском щите // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 11. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008б. С. 203–220.

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 и новые материалы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 37–55.

Щипцов В. В. Промышленные минералы Карелии // Горный журнал. 2019б. № 3. С. 16–20.

Feldspar statistics and information // Mineral Commodity Summaries USGS [Электронный ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/feldspar-statistics-and-information/> (дата обращения: 20.04.2020).

Precambrian industrial minerals of Karelia / Ed. V. Shchiptsov. Petrozavodsk, 1993. 83 p.

Tanner A. O. Feldspar and nepheline syenite // Minerals Yearbook U. S. Dep. of the Interior U. S. Geol. Survey. 2016. P. 1–9.

Поступила в редакцию 19.05.2020

References

- Avgustinik A. I. *Keramika* [Ceramics]. Leningrad: Stroiizdat, 1975. 592 p.
- Barkhatov A. V., Skamnit'skaya L. S. Osobennosti obogashcheniya i kompleksnogo ispol'zovaniya apatitovykh rud Yuzhnoi Karelii [Features of enrichment and integrated use of Apatite ores of South Karelia]. *Kompleksnoe i ratsional'noe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya Karelii* [Comprehensive and rational use of mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1986. P. 24–40.
- Belov Yu. I., Bresler S. M., Pekki A. S., Kulmala T. K. Kvartsevye porfiry Karelii – novyi istochnik polevoshpatovogo syr'ya [Quartz porphyry of Karelia – a new source of feldspar raw materials]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and Protection of Mineral Resources]. 1973. No. 6. P. 7–10.
- Borisov P. A. Keramicheskie pegmatity SSSR i ikh zameniteli [Ceramic pegmatites of the USSR and their substitutes]. Moscow: AN SSSR, 1954. 270 p.
- Geologiya Karelii* [Geology of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1987. 230 p.
- Golovanov Yu. B., Mikhailov V. P., Shchiptsov V. V., Rodionov V. S. Polevoshpatovoe syr'e [Feldspar raw materials]. *Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya* [Raw material base of the Republic of Karelia]. Book 2. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. P. 85–104.
- Gosudarstvennyi balans zapasov poleznykh iskopayemykh Rossiiskoi Federatsii. Polevoshpatovoe syr'e [National register of mineral resources of the Russian Federation. Feldspar raw materials]. Iss. 52. Moscow, 2015.
- Grodnitskii L. L. Granitnye pegmatity Baltiiskogo shchita [Granite pegmatites of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1982. 294 p.
- Guzman I. Ya. Khimicheskaya tekhnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics]. Moscow: Stroimaterialy, 2003. 496 p.
- Ilyina V. P., Lebedeva G. A. Ispol'zovanie otkhodov obogashcheniya shchelochnykh sienitov Elet'ozerskogo mestorozhdeniya dlya izgotovleniya keramicheskikh plitok [Use of waste from the enrichment of alkaline syenites of the Eleyozero deposit for the production of ceramic tiles]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics]. 2010. No. 7. P. 3–6.
- Ilyina V. P., Klabukov B. N. Polevoshpatovoe syr'e Karelii i sravnitel'nyi analiz rezul'tatov izucheniya ego fiziko-tekhnologicheskikh svoystv [Karelian feldspar raw materials and comparative analysis of the results of studying its physical and technological properties]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 6. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 109–113.
- Kameneva E. E., Skamnit'skaya L. S. Obogashchenie mineral'nogo syr'ya Karelii [Enrichment of mineral raw materials of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. 230 p.
- Khazov R. A. Metallogeniya Ladozhsko-Botnicheskogo geobloka Baltiiskogo shchita [Metallogeny of the Ladoga-Bothnian geoblock of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1982. 192 p.
- Ladozhskaya proterozoiskaya struktura (geologiya, glubinnoe stroenie i minerageniya) [Ladoga Proterozoic structure (geology, deep structure, and minerageny)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020. 435 p.
- Larin A. M. Granity rapakivi i assotsiiiruyushchie porody [Rapakivi granites and associated rocks]. St. Petersburg: Nauka, 2011. 402 p.
- Pekki A. S., Skamnit'skaya L. S. Nefelinovye sienity Elet'ozera – perspektivnyi istochnik polevoshpatovogo syr'ya [Nepheline syenites of Eleyozero are a promising source of feldspar raw materials]. *Mineral'noe syr'e Karelii* [Mineral raw materials of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 1977. P. 39–47.
- Pekki A. S., Razorenova V. I. Mestorozhdeniya polevoshpatovogo syr'ya Karelii [Deposits of feldspar raw materials in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1977. 152 p.
- Pekki A. S., Kulmala T. K., Skamnit'skaya L. S., Barkhatov A. V. Rezeravnaya baza kvarts-polevoshpatovogo syr'ya v Severnom Priladozh'e [Reserve base of quartz-feldspar raw materials in the Northern Ladoga region]. *Kompleksnoe i ratsional'noe ispol'zovanie mikroklinovogo syr'ya Karelii* [Comprehensive and rational use of Karelian microcline raw materials]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1986. P. 13–24.
- Pekki A. S., Skamnit'skaya L. S., Kulmala T. K. O vozmozhnosti dobychi mikroklinovyykh pegmatitov na mestorozhdenii Brusnichnoe. Oper.-inform. materialy za 1976 g. [On the possibility of microcline pegmatites production at the Brusnichnoye deposit. Operational and informational materials for 1976]. Petrozavodsk, 1976. P. 42–47.
- Respublika Kareliya v tsifrakh 2019. Kratkii statisticheskii sbornik [The Republic of Karelia in numbers by 2019. A brief statistical collection]. *Federal'naya sluzhba gos. statistiki* [Federal St. Statistics Service]. URL: [https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02471\(1\).pdf](https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02471(1).pdf) (accessed: 20.04.2020).
- Rodionov V. S. Otchet "Otsenka resursnogo potentsiala neraspredelennogo fonda nedr mestorozhdenii Chupino-Loukhskoi gruppy s tsel'yu otsenki tselesobraznosti vozobnovleniya dobychi slyudy muskovita i otsenki vozmozhnosti mnogotselevogo ispol'zovaniya porod, slagayushchikh gornye otvaly etikh mestorozhdenii" [Report Assessment of the resource potential of the unallocated subsoil fund of the Chupino-Loukh group deposits in order to assess the feasibility of commencement of muscovite mica production and possibility of multi-purpose use of the rocks composing mining stockpiles of these deposits]. Chupa, 2007. 130 p.
- Sharkov E. V., Belyatskii B. V., Bogina M. M., Chistyakov A. V., Shchiptsov V. V., Antonov A. V., Lepekhi-na E. N. Kristallogenezis i vozrast tsirkona iz shchelochnykh i osnovnykh porod Elet'ozerskogo magmaticheskogo kompleksa, Severnaya Kareliya [Crystallogenesi-s and age of zircon from alkaline and basic rocks of the Eleyozero igneous complex, Northern Karelia]. *Petrologiya* [Petrology]. 2015. Vol. 23, no. 3. P. 285–307.
- Shishkov A. Yu. Novye perspektivy primeneniya otkhodov gornodobyvayushchikh proizvodstv Karelo-Kol'skogo regiona [New prospects for the use of mining waste in the Karelo-Kola region]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2020. No. 1. P. 90–97.
- Shchiptsov V. V., Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P., Garanzha A. V., Danilevskaya L. A., Savitskii A. I., Bukchina O. V. Geologo-tekhnologicheskaya kharakteri-

stika krupnogo proyavleniya anortozitov Kotozerskogo uchastka (Severnaya Kareliya) [Geological and technological description of a large manifestation of anorthosites in the Kotozersky area (North Karelia)]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 7. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. P. 151–163.

Shchiptsov V. V. Promyshlennye mineraly Fennoskandinavskogo shchita i ikh rol' v razvitii mineral'no-syr'evoi bazy mirovoi ekonomiki [Industrial minerals of the Fennoscandian Shield and their role in the development of the mineral resource base of the world economy]. *Mineralogo-tekhrol. otsenka novykh vidov mineral'nogo syr'ya* [Mineral and technol. assessment of new types of mineral raw materials]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2019a. P. 7–30.

Shchiptsov V. V. Tekhnologo-mineralogicheskaya otsenka mineral'nykh resursov Karelii [Technological and mineralogical assessment of mineral resources of Karelia]. *Obogashchenie rud* [Mineral Processing J.]. 2007. No. 1. P. 35–39.

Shchiptsov V. V., Ivashchenko V. I. Mineral'no-syr'evoi potentsial arkticheskikh raionov Respubliki Kareliya [Mineral potential of Arctic Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 2. P. 3–33. doi: 10.17076/geo775

Shchiptsov V. V., Lebedeva G. A., Ilyina V. P. Perspektivy ispol'zovaniya mineral'no-syr'evoi bazy Karelii dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov [Prospects for using the mineral resource base of Karelia for the production of construction materials]. *Stroitel'nye mat.* [Building Mat.]. 2008a. No. 5. P. 8–10.

Shchiptsov V. V., Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P. Promyshlennye mineraly Elet'ozerskogo massiva i ikh analogi na Fennoskandinavskom shchite [Industrial minerals of the Eleytozero massif and their counterparts in the Fennoscandian Shield]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 11. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008b. P. 203–220.

Shchiptsov V. V., Skamnit'skaya 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, mineralogical and technological research of the Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences in assessing the potential of the mineral resource base of the Republic of Karelia]. *Tekhnol. mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya i novye mat.* [Technol. mineralogy, methods of processing mineral raw materials, and new mat.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 37–55.

Shchiptsov V. V. Promyshlennye mineraly Karelii [Industrial minerals of Karelia]. *Gornyi zhurn.* [Mining J.]. 2019b. No. 3. P. 16–20.

Skamnit'skaya L. S., Barkhatov A. V. Potentsial'noe barii-strontsiisoderzhashchee polevoshpatovoe syr'e [Potential barium-strontium containing feldspar raw materials]. *Fiziko-khim. osnovy pererabotki bednogo*

prirod. syr'ya i otkhodov promyshlennosti pri poluchenii zharostoikikh mat. [Physical and chem. bases of processing of poor nat. raw materials and industrial waste in the production of heat-resistant mat.]. Syktyvkar, 1989. 35 p.

Skamnit'skaya L. S., Barkhatov A. V., Kulmala T. K., Mar'ina S. P. Primenenie novoi tekhnologii obogashcheniya v poluchenii mikroklivnykh kontsentratov iz pegmatitov [The application of a new technology for enriching microcline in obtaining concentrates from pegmatites]. *Rezultaty tekhnol. issled. 1987–1988 gg.* [Results of technol. res. in 1987–1988]. Petrozavodsk, 1988.

Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P. Izuchenie vozmozhnostei ispol'zovaniya otkhodov shchebenochnykh kar'erov v kachestve prirodnykh mineral'nykh fil'trov [Study of the possibilities of using crushed stone quarry waste as natural mineral filters]. *Stroitel'nye mat.* [Building Mat.]. 2008. No. 5. P. 42–44.

Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P. Kompozity na osnove anortozitov i ikh svoistva [Composites on the basis of the anorthosites and their properties]. *Stroitel'nye mat.* [Building Mat.]. 2012. No. 1. P. 64–69.

Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P. Osobennosti sostava i struktury kvartsevykh porfirov mestorozhdeniya Roza-Lampi kak istochnika polevoshpatovogo syr'ya [Features of the composition and structure of quartz porphyry of the Rosa-Lampi deposit as a source of feldspar raw materials]. *Prognoznaya otsenka tekhnol. svoistv poleznykh iskopaemykh metodami priklad. mineralogii* [Predictive assessment of technol. properties of minerals by methods of appl. mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 152–154.

Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P., Dubinchuk V. T., Rakov L. T. Nauchnoe obosnovanie potentsiala kvartsa iz tekhnogennykh otvalov slyudonosnykh pegmatitov (Kareliya) [Scientific bases of quartz potential from technogenic dumps of mica-bearing pegmatites (Karelia)]. *Tekhnol. mineralogiya prirod. i tekhnogennykh mestorozhdenii* [Technol. mineralogy of nat. and man-made deposits]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 90–99.

Vskryshnye porody Kostomukshskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya i puti ikh ispol'zovaniya v narodnom khozyaistve [Overburden rocks of the Kostomukshsky iron ore deposit and ways of their use in the national economy]. Petrozavodsk: Kareliya, 1983. 367 p.

Feldspar statistics and information. Mineral Commodity Summaries USGS. URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/feldspar-statistics-and-information/> (accessed: 20.04.2020).

Precambrian industrial minerals of Karelia. Ed. V. Shchiptsov. Petrozavodsk, 1993. 83 p.

Tanner A. O. Feldspar and nepheline syenite. *Minerals Yearbook U. S. Dep. of the Interior U. S. Geol. Survey*. 2016. P. 1–9.

Received May 19, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

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

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

Ильина Вера Петровна

старший научный сотрудник, к. т. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: iljina@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

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

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

Ilyina, Vera

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: iljina@krc.karelia.ru