

разрушения структурно неоднородных материалов в аппаратах центробежно-ударного дробления, так как именно такой способ дезинтеграции обеспечивает наиболее полное раскрытие сложных минеральных комплексов по границам срастания фаз, а следовательно, и более высокие показатели последующего обогащения труднообогатимого техногенного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические, экономические и экологические аспекты переработки техногенного сырья горно-металлургических предприятий Урала / Шадрунова И.В., Волкова Н.А., Мاستюгин С.А., Горлова О.Е. // Экология и промышленность России.-2013.-№8.- С.16-21.
2. Оценка селективности дезинтеграции металлургических шлаков / Шадрунова И.В., Ожогина Е.Г., Колодежная Е.В., Горлова О.Е. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – №5. –С. 180-190.
3. Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е. Адаптация разделительных процессов обогащения полезных ископаемых к техногенному сырью: проблемы и решения // Обогащение руд — 2012. — № 5. – С. 43-49.
4. Прогнозная технологическая и ресурсная оценка шлаков цветной и черной металлургии / Шадрунова И. В., Козин А. Ю., Воробьев В. В., Артамонов В. А., Колодежная Е. В. / Материалы междунар. совещ. "Плаксинские чтения". Ч. 2. — Апатиты: КНЦ РАН, 2007. – С.
5. Анализ и выбор способов переработки металлургических шлаков / Ожогина Е.Г., Броницкая Е.С., Ануфриева С.И. и др // Цветные металлы. — 2002. — № 8. – С.26.

УДК 553.6: 470.22

ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИНЕРАЛОВ ДОКЕМБРИЯ КАРЕЛИИ

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

ФГБУН Институт геологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

В настоящее время практической целью геологических исследований на территории Карелии является оценка минерально-сырьевых ресурсов и возможность освоения минерально-сырьевой базы республики на базе высоких технологий. На севере Европейской части России среди минерагенических подразделений важное место принадлежит Карело-Кольской провинции - минерагеническому подразделению I порядка. Определенная роль отводится промышленным минералам, образующим месторождения полезных ископаемых, к

которым применены новые классификационные принципы на основе критерия конечного использования минерального продукта.

Основные геологические особенности Фенноскандинавского щита, одной из древних мегаструктур Земли, определились за продолжительный период активного пульсационного становления земной коры – от ранних датируемых этапов формирования (> 3.5 млрд лет) со сменой геодинамических режимов во всей последующей истории геологического развития до фанерозойской активизации. Значительная часть промышленных минералов принадлежит к метаморфогенной серии месторождений и проявлений, преимущественно связанных с региональным метаморфизмом и кислотными, основными и щелочными фациями метасоматоза. Систематизированный подход к оценке промышленных минералов Карелии позволяет ранжировать их по важнейшим геологическим событиям в истории земной коры Фенноскандинавского щита и определить их роль в экономике минерального сырья с учетом того обстоятельства, что мировая конъюнктура достаточно стабильна по отношению к определенным группам полезных ископаемых и имеет тенденцию к росту [1].

К таким геологическим палеообстановкам относятся архейские гранито-гнейсовые поля с интенсивно, умеренно и слабо реактивизированными областями (промышленные минералы - полевой шпат, кварц, мусковит, гранат, графит, кианит, пирит, корунд, сподумен); структурно-формационные комплексы архейских гранит-зеленокаменных областей (промышленные минералы - кварц, гранат, графит, кианит, мусковит, пирит, ставролит, тальк); области развития свекокарельских осадочно-вулканогенных и вулканических толщ (промышленные минералы - кварц, тальк, шунгит, графит, полевой шпат, барит, андалузит); рифейско-вендский комплекс (промышленные минералы - кварц, флюорит, Ba-Sr полевой шпат, волластонит); дифференцированные интрузии от ультраосновного до кислощелочного и карбонатитового состава архейского и протерозойского периода (промышленные минералы - апатит, кальцит, полевой шпат, барит, ильменит, титаномагнетит, магнетит, хромит, асбест, тальк, магнезит, пирит, оливин) (см. рисунок).

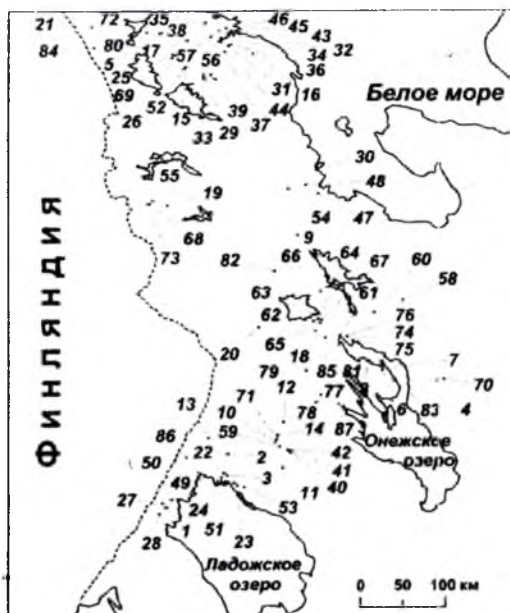


Схема размещения месторождений и крупных проявлений промышленных минералов Карелии

На рисунке: графит - Ихальское (1), Полвилампи (2), Кительское (3), Восточногавзерское (4), Хирвинаволкское (5), высокоуглеродистые шунгитовые сланцы - Зажогинское (6), Максовское (7), Шуньгское (8). серный колчедан - Парандовское (9), Хаугаваарское (10), Ведлозерское (11), Чалка (12), Ялонваара (13), Шуйское (14), ильменит - Суриваара (15), кварц - Никонова Варакка (16), Степаново озеро (17), Фенькина лампы (18), Меломайс (19), Метчангъярви (20), Майское (21), флюорит - Кителя (22), Уксинское (23), Хопунваара (24), апатит - Карбонатитовое (25), Восточное (26), Кайвоямки (27), Райвямьяки (28), кианит - Хизоваара (29), гранат - Тербеостровское (30), Западно-Плотининское (31), Левин Бор (32), Высота 181 (33), мусковит - Малиновая Варакка (34), Тэдино (35), Плогина (36), Слодозеро (37), Карельское (38), Межозерно (39), полевой шпат (керамические пегматиты) - Кюрьяла (40), Брусничное (41), Большое (42), Хетоламбина (43), Чкаловское (44), Уракка (45), Блинковые Вараки (46), Слодяной Бор (47), Торлов ручей (48), Линнаваара (49), Якклима (50), Люпикко (51), полевой шпат (нетрадиционные типы) - Ельтозерское (нефелиновые сиениты) (52), Юка-Коски (53), Роза-Лампи (кварцевые порфиры) (54), Костомукшское (геллефлинта) (55), Озеро Долгое (56), Нижнее Когозеро (57), тальк - Светлозерское (тальк-магнетитовые сланцы) (58), Игнойла (59), Повенчанка (60), Пиндуши (61), тальковый камень - Турган-Койван-Аллушта (62), Каллиеве Мурененаара (63), Кала-лампи (64), Остерозеро (65), Урусозеро (66), Вожемский (67), Озерки (68), оливин - Шапкозерское (69), Аганозерское (70),

серпентинит – Хаутаваарское (71) Ханкус (72), Таловейс (73), щелочной амфибол-асбест – Краснополянское (74), Пювенецкое (75), Саленицкое (76), доломит – Пялозерское (77), Виданское (78), Райгуба-Минозерское (79), Кукаозерское (80), Шайдомское (81), Елмозерское (82), Кузарандовское (83), мрамор – Соватъярвинское (84), Чебинс-Острече (85), Рускеала (86), пироксеновый порфирит – Хавчеозерское (87).

Высокомагнезиальные породы преобладают на ранней стадии формирования земной коры (мезо и неоархей). К наиболее ранним продуктивным на высокомагнезиальные промышленные минералы относятся коматиит-базальтовая серия зеленокаменных поясов архея (высоко-Mg вулканиты) и бонинитоподобные ассоциации в составе супракrustальных толщ тех же поясов, с которыми связаны новообразованные по высокомагнезиальным породам тальк, магнезит и серпентин двух этапов (первый класс): 3.06 – 2.9 (Ведлозерско-Сегозерский, Сумозерско-Кенозерский и Южно-Выгозерский пояса) и 2.85 – 2.8 млрд лет (Костомукшская структура, где в коматиитовых лавах концентрации MgO составляют 24-31 %, достигая 33-39 %) [2]. В дальнейшем преобладающими становились на кратонной стадии кремнеземистые высокомагнезиальные серии (пикриты, базальты, андезиты), образующие крупные лавовые потоки с огромными роями габброноритовых даек и становлением на этой стадии расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузивов. Например, в интервале 2.45-2.43 млрд лет в палеопротерозое в рифтовых структурах сформировался крупный расслоенный мафит-ультрамафитовый Бураковский интрузив, содержащий в себе такие высокомагнезиальные промышленные минералы, как оливин, серпентин или оливиниты и дуниты Тикшеозерского массива (второй класс). Крупные залежи магнезита обнаружены в серпентинизированной ультращелочной породе, претерпевшей гидротермальное выщелачивание магния из серпентинита (Светлоозерское месторождение). Форма образований зависит от исходных размеров породы и степени метасоматоза. Образования обычно встречаются в форме линзовидных тел и гнезд. Другой (третий) класс магнезиальных пород на территории Карелии представлен доломитами осадочно-вулканогенных толщ палеопротерозоя Карельского кратона и Свеккофеннской складчатой области. Чистый магнезит встречается редко, а природные минералы часто образуют изоморфные ряды. В Карелии выделены два типа тальксодержащих пород. Месторождения и проявления первого типа (алоультрамафитовый) распространены в ультрамафитах перидотит-пикритового или дунит-перидотитового состава, а также в серпентинизированных коматиитах в архейских зеленокаменных областях. К промышленным продуктам относится

тальковый камень и железистый тальк. Проявления талька апикарбонатного типа приурочены исключительно к доломитам ятулийского надгоризонта палеопротерозоя. С этими комплексами связаны проявления маложелезистого талька до тальцитов.

Минералого-технологические исследования позволили сделать вывод о перспективах мусковитовых кварцитов, расположенных в восточной части Хизоваарской структуры – Межозерное месторождение [3]. В отличие от чупинского мелкозернистого пегматитового мусковита, маложелезистый мусковит из кварцитов имеет превосходные характеристики по железу – менее 1 %, мышьяку – не более 3 мг/кг, свинцу – не более 20 мг/кг, более 90 % свободных от минеральных примесей чешуек фракции – 0.04-0.1 мм.

Около 75% производимой в мире молотой слюды сухим способом потребляется в производстве гипсоплит и лакокрасочных материалов.

Выявлены и оценены месторождения и проявления гранатовых руд (Западно-Плотинское, Унияярви, Левин Бор, Высота-181) [4]. Предварительные результаты лабораторных технологических испытаний свидетельствуют о принципиальной возможности обогащения руд с получением гранатового концентрата.

Хизоваарское кианитовое поле (участки – Южная линза, Северный, Восточный) – наиболее исследованный объект для промышленного освоения высокоглиноземистых пород России с задачей получения кианитовых концентратов для огнеупоров и других технических материалов [5]. Образование месторождений высокоглиноземистого сырья связывается с мегаморфическими комплексами архейского возраста с преобразованием их во время протерозойской активизации в метасоматиты. Установлена полигенность и полихронность докембрийских глиноземистых руд и выделены метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический и метасоматический природные типы руд, которые различаются минеральным и гранулометрическим составами и характером сростаний кианита с другими минералами.

В стратиграфической последовательности карельского комплекса ятулийский надгоризонт имеет отчетливые маркирующие толщи карбонатных и кварцитовых образований. В Центральной Карелии карбонатные породы, среди которых оконтурены площади месторождений, залегают в пределах вулканогенно-осадочного бассейна или в линейных структурах позднепротерозойского возраста (месторождения Пялзеро, Виданское, проявления Чебино-Остречье, Янисярви, Елмозеро, Чирка-Кемь, Коватъярви). Типичными морфологическими формами являются линзы мощностью 8–10 м при протяженности 400-500 м [6].

В ятулийское время возникали фациальные условия, благоприятные для накопления чистых кварцевых песков в бассейнах с длительным перемывом и сортировкой обломочного материала. В этой обстановке происходило полное разрушение аркозовой составляющей, окисление железистых и удаление слюдястых минералов, что и стало причиной накопления в составе янгозерского горизонта ятулийского надгоризонта мощных пластов чистых кварцевых песков, метаморфизованных в дальнейшем в мономинеральные кварциты и кварцитопесчаники (месторождения Метчангъярви-1 и -2, Нестерова Гора, Боконваара, Шалговаара) [7].

Шунгитсодержащие породы относятся к двум стратиграфическим уровням - людииковийскому и калевийскому надгоризонтам. Шунгит определяется как элементарный углерод с метастабильной структурой, не способной к графитизации. Углерод связывается с подвижностью гидрокарбонатов из керогенов. Минеральную основу шунгитовых пород (10-70 % шунгита в составе породы) составляют алюмосиликаты, кварц, реже - карбонат. На первом уровне в заонежской свите произошло формирование углеродсодержащих пород в бассейнах глинисто-карбонатного осадконакопления при резко восстановительных условиях, которое сопровождалось подводным вулканизмом. В Онежской мульде содержание углерода в породах достигает 70 % (Забогинское и Шуньгское месторождения). Шунгитсодержащие породы калевийского уровня (кондопожская свита) слагают крупные месторождения малоуглеродистых шунгитовых сланцев - Мягозерское и Нигозерское [1].

Комплекс метаморфизованных сланцево-гнейсовых толщ людииковийского надгоризонта включает в себя рудные тела на месторождении графита Ихальское. Амфиболито-сланцевая толща претерпела метаморфизм от амфиболитовой до гранулитовой фации андалузит-силлиманитовой фациальной серии, по В.А. Глебовицкому. Графитовый горизонт состоит из нескольких графитоносных пачек мощностью от 8 до 350 м протяженностью до 1500 м [6]. Месторождение относится к промышленно значимому, по масштабам к крупнейшему на Северо-Западе России.

Минерагения периода свекофеннской активизации весьма широка и уникальна. Основной генетический тип месторождений Беломорского подвижного пояса определяется эндогенными процессами пегматитообразования, проявленными в условиях диафореза и связанного с ним метасоматоза гнейсов, амфиболитов и мигматитов, составляющих единый беломорский структурно-формационный комплекс, связанный с бассейном развития парагнейсов Беломорья. Мусковитовые пегматиты жильного типа пространственно

ассоциируются с высокоглиноземистыми породами ржавого облика чупинской свиты и контролируются узкими линейными зонами сжатых и изоклинальных складок, а также зонами расщеливания и кливажа [8].

Наиболее распространенными по использованию в качестве технологического компонента при производстве строительной и технической керамики являются промышленные минералы группы полевых шпатов. Важное коммерческое значение принадлежит калиевому полевому шпату (микроклину). В этой области длительное время проводились и проводятся в институте исследования по минералого-технологической оценке новых объектов полевошпатового сырья – это геллефлинта (вскрышные и вмещающие породы для магнетитовых кварцитов Костомукшского железорудного месторождения), кварцевые порфиры Роза-лампы, нефелиновые сиениты Ельтеозерского массива, гранит-рапакиви Салминского массива. К новому виду полевошпатового сырья относятся детально изученные и оцененные анортозиты крупного проявления Нижнее Котозеро [9].

Рифейский комплекс щелочно-полевошпатовых пород, названных ладогалитами, представляет собой новый вид комплексных магматических месторождений апатитового, стронций-барийсодержащего щелочно-полевошпатового, сиенитового щелочно-полевошпатового сырья и титанового минерального сырья Элисенваарской группы. Внедрение щелочнокалиевой магмы с характерной недосыщенностью SiO_2 и высоким содержанием щелочей до 13,2% при преобладании калия над натрием ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,34-0,84$) произошло в интрузивную и диатремо-дайковую фазы [10]. Рудой на месторождениях являются горные породы, названные по месту нахождения ладогалитами (щелочные ультрамафиты и мафиты), а также тенсбергиты и нордмаркиты – щелочные породы среднего и кислого состава. Интерес к этим геологическим образованиям, представленным крупными массивами Кайвомяки и Райвимиэки, еще более усиливают находки акцессорных микроалмазов в диатремах эксплозивных брекчий.

Важной нерешенной задачей является оценка минерально-сырьевой базы карельского кварца за счет применения новых технологий обогащения кварца и получения поликристаллического кремния. Региональными исследованиями были охвачены основные геологические структуры на всей территории Карелии и установлены новые кварценозные проявления, в том числе и кварцевые жилы с гранулированным кварцем, приуроченные к зонам кислотного выщелачивания в период проявления процессов свекофеннской активизации, сливные кварциты и россыпи галечного кварца, в составе которых содержится до 30% гранулированного или прозрачного кварца [7]. Области с наиболее совершенной кристаллической структурой

(кристаллиты) характеризуются минимальными содержаниями примесей, а дефектные области (демпферные зоны) – максимальными. Минералоготехнологические исследования кварцевого сырья позволяют предварительно оценить возможные направления использования и промышленной значимости конкретных объектов. В настоящее время Институт геологии КарНЦ РАН участвует в программе Президиума РАН в разработке проекта «Геологическая и минералоготехнологическая оценка кварцевого сырья Карело-Кольской кварценозной провинции – нового перспективного региона России» (проект ППРАН 27-1.1.9). К тому же институт и ФГУП «Центркварц» в рамках проекта «Современная геологотехнологическая оценка нетрадиционных источников кварцевого сырья для различных направлений использования» осуществляют работу по изучению ряда объектов на территории Карелии (Степаново озеро, Меломайс, Метчангъярви, Гирвас, Майское). Установлена потенциальная пригодность для производства кварцевых концентратов для плавки, микро- и нанопорошков, а также поликристаллического кремния «солнечного» качества и другая товарная продукция. Особо чистые кварцевые концентраты широко используются в промышленности высоких технологий при производстве тиглей для выращивания монокристаллического кремния, формоустойчивых реакторов для эпитаксиальных процессов, кварцевой оснастки и т.д. Кроме рынка кварцевых концентратов, широко развит рынок кварцевых порошков. Основное применение кварцевых порошков – это производство эпоксидной пресс-массы для изготовления интегральных микросхем.

Следует подчеркнуть важную особенность многих видов промышленных минералов многоцелевого назначения, в чем заключается большое отличие от руд металлов и горючих ископаемых, где ценность сырья определяется, прежде всего, содержанием полезного компонента. Качество же промышленных минералов оценивается в зависимости от их физических, физико-химических свойств и особенностей минерального состава, диапазон которых весьма широк и многообразен.

На примере минералоготехнологического изучения минералов и руд Карелии установлено, что свойства (характер оруденения, текстурноструктурные особенности, размер вкрапленности рудных и нерудных минералов, их состав, гранулометрическая граница раскрытия сростков, химический состав минералов и т. д.) являются основой для выбора технологии обогащения. В соответствии с принятой методологией исследования проводились в двух направлениях. Первое – теоретическое предположение и экспериментальное изучение закономерностей изменения свойств минералов с целью интенсификации процессов обогащения. Второе – выбор и научное обоснование технологий

обогащения на основе изучения закономерностей селективного разделения парагенетических ассоциаций промышленных минералов.

Одним из перспективных направлений развития технологии обогащения является разработка и обоснование способов и методов изменения природных свойств минералов с целью повышения технологических показателей. Использование термических, радиационных, химических и других видов энергетического воздействия на минералы является важнейшим современным направлением технологической минералогии. Преобразование свойств минералов в заданном направлении позволяет не только изменять обогатимость руд, но и создавать новые процессы извлечения полезных компонентов. В рамках данного научного направления исследована возможность повышения технологических показателей обогащения кианитовых, графитовых, гранатовых и некоторых других типов руд Карелии на основе предварительного модифицирования свойств минералов [11]. Выполнен комплекс исследований по выявлению и научному обоснованию механизмов изменения их свойств под воздействием ультразвука, химически активной плазмы, СВЧ-излучения, протонного облучения, воздействия мощными электромагнитными импульсами [12]. Идея заключена в усилении контрастности свойств разделяемых минералов на основе направленного воздействия различными силовыми полями для повышения эффективности процессов обогащения, т.е. становится возможным на принципиально новом уровне показать технологические решения на основе разработанной в лаборатории блок-схемы технолого-минералогического изучения промышленных минералов. Особенностью современного этапа геолого-технологического изучения промышленных минералов Карелии является исследование новых видов на поисково-оценочной стадии. В этой связи выполнены системные технолого-минералогические исследования целого ряда перспективных типов промышленных минералов – маложелезистых мусковитовых кварцитов и сланцев, гранатовых и гранат-ставролитовых, кианитовых, титансодержащих, апатит-карбонатных руд, анортозитов и нетрадиционных видов полевошпатового сырья, на стадиях прогнозирования, поисков и оценки. Особое внимание при исследованиях уделено методам технологической минералогии. Необходимо отметить, что в институте создана российская школа по технологической минералогии под эгидой Комиссии по технологической минералогии РМО.

Методология комплексной оценки промышленных минералов заключается в рациональном комплексировании минералого-аналитических исследований и перспективных технологий их переработки. Одновременно при этом увеличивается лицензионная

привлекательность сырьевых объектов, поскольку предполагается увеличение экономической эффективности производства при внедрении инновационных технологий.

Заключение

С развитием высоких технологий все более значимыми становятся минеральные продукты высокой чистоты, а это, в свою очередь, на примере Карелии влечет за собой интерес к промышленным минералам Фенноскандинавского щита, часть из которых не играла значительной роли в недалеком прошлом (такие промышленные минералы докембрия, как кианит, гранат, новые типы полевошпатовых проявлений, кварцевое сырье, мусковит из нетрадиционных источников, ильменит, тальк и др.). Основная цель заключалась, во-первых, в комплексной оценке руд промышленных минералов Карелии и совершенствовании технологических схем управления качеством с использованием опыта Норвегии, Финляндии и Швеции; во-вторых, в обосновании минерально-сырьевой базы для использования в различных отраслях промышленности – огнеупорной, стекольной, керамической, строительных материалов и др. Получены новые технологико-минералогические данные по конкретным природным типам руд, проанализированы закономерности изменения минералогических свойств и оценка дифференциации технологических типов, а также особенности обогащения (извлекаемые, трудноизвлекаемые и неизвлекаемые), выявлены основные тенденции рынка и установлены возможности использования карельского минерального сырья в производстве огнеупоров, стекла, керамики, строительных материалов и других производствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минерально-сырьевая база Республики Карелия: в 2 кн. - Петрозаводск: Карелия, 2006. - Кн. 2: Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. - 356 с.
2. Щипцов В.В. Магнезиальное сырье: история, мировой потенциал и ресурсы Карелии // Сб. тр. института Геология и полезные ископаемые Карелии / ИГ КарНЦ РАН. Вып. 15. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. - С. 45–61.
3. Мусковитовые кварциты - новый промышленный тип слюдяного сырья. Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Данилевская Л.А., Родионов В.С. // Сб. тр. института Геология и полезные ископаемые Карелии / ИГ КарНЦ РАН. Вып. 6. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. - С. 67–77.
4. Гранатовые руды Карелии / Щипцов В.В., Бубнова Т.П., Скамницкая Л.С. и др. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – 208 с.

5. Кианитовые руды России / Огородников В.Н., Коротеев В.А., Войтеховский Ю.Л. и др. - Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 334 с.
6. Щипцов В.В. Обзор и оценка промышленных минералов Республики Карелия // Геология рудных месторождений. - 2005. - Т. 47. - №1. - С.3–15
7. Данилевская Л.А., Скамницкая Л.С., Щипцов В.В. Кварцевое сырье Карелии. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. – 226 с.
8. Гродницкий Л.Л. Фудогенерирующие пегматитовые системы Кольской части Беломорского пояса. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1991. - 174 с.
9. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (северная Карелия). Щипцов В.В., Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Гаранжа А.В., Данилевская Л.А., Савицкий А.И., Букчина О.В. // Сб. тр. института Геология и полезные ископаемые Карелии / ИГ КарНЦ РАН. Вып. 7. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. - С. 151–162.
10. Хазов Р.А., Попов М.Г., Бискэ Н.С. Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. - СПб.: Наука, 1993. - 218 с.
11. Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Обогащение минерального сырья Карелии. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. – 230 с.
12. Щипцов В.В., Каменева Е.Е., Скамницкая Л.С. Теория и практика обогащения минерального сырья Карелии // Сб. тр. института Геология и полезные ископаемые Карелии / ИГ КарНЦ РАН. Вып. 9. - Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006 - С. 183–195.