

УДК 552.47:666.762.34 (470.22)

ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО ПОТЕНЦИАЛА МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ПОРОД РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Е. Е. Климовская, П. В. Фролов, В. П. Ильина, А. А. Иванов

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

Минерально-сырьевой потенциал Республики Карелия в отношении магниезиальных промышленных минералов и горных пород обусловлен особенностями геологического строения территории и эволюцией геологических процессов, проявившихся на ранних стадиях развития земной коры юго-восточной части Фенноскандинавского щита. Преобладающая часть месторождений и проявлений (оливиниты, пироксениты, серпентиниты, кемиститы, тальк, хризотил- и антофиллит-асбест, тальковый камень, пикритовые базальты) приурочена к областям развития магматических образований мафит-ультрамафитового состава различной фациальной и геодинамической принадлежности, формирование которых связано с архейскими и палеопротерозойскими эндогенными событиями в пределах основных структурно-вещественных комплексов. Часть месторождений и проявлений (доломиты, тальк, магниезиальный рибекит-асбест) связаны с доломитами осадочно-вулканогенных толщ палеопротерозоя Карельского кратона. В статье рассмотрены основные обстановки формирования, особенности геологического строения, вещественного состава месторождений и проявлений магниезиальных промышленных минералов и горных пород Карелии, а также на основе результатов минералого-технологических исследований, выполненных сотрудниками ИГ КарНЦ РАН, определены области их практического применения.

Ключевые слова: минералогия; магниезиальное сырье; тальк; серпентинит; оливинит; Карелия; Фенноскандинавский щит.

E. E. Klimovskaya, P. V. Frolov, V. P. Ilyina, A. A. Ivanov. ASSESSMENT OF THE MINERAL RESOURCE POTENTIAL OF HIGH-MAGNESIAN ROCKS OF THE REPUBLIC OF KARELIA

The mineral- and raw material potential of the Republic of Karelia as regards high-Mg industrial minerals and rocks has been shaped by the territory's geological structure and the evolution of geological processes in early stages of the Earth's crust development in the southeastern part of the Fennoscandian Shield. A majority of deposits and occurrences (olivinite, pyroxenite, serpentinite, kemistites, talc, chrysotile- and anthophyllite-asbestos, soapstone, picritic basalts) are found in regions with mafic-ultramafic magmatic rocks of various facies and geodynamic settings, whose formation is associated with Archean and Paleoproterozoic endogenous events within the main structural and compositional complexes. Some deposits and occurrences (dolomites, talc, magnesian riebeckite-asbestos) are associated with dolomites of Paleoproterozoic sedimentary-volcanogenic strata of the Karelian craton. The article discusses the main formational environments, features of the geological structure and composition of Karelian high-Mg industrial minerals and rocks deposits and occurrences. The areas of their practical appli-

cation have been determined on the basis of the results of mineralogical and technological studies carried out by the IG KarRC RAS.

Keywords: minerageny; Mg-rich materials; talc; serpentinite; olivinite; Karelia; Fennoscandian Shield.

Введение

Практическая значимость магнезиальных пород и продуктов их переработки определяется широким использованием в различных отраслях промышленности: металлургической, огнеупорной, стекольной, керамической, химической, триботехнике, а также в сельском хозяйстве [Высокомагнезиальное..., 1991]. Известны теоретические разработки и возможные области применения магнезиальных силикатов в качестве нетрадиционного сырья для изготовления различных строительных материалов, в том числе строительной облицовочной керамики, тепло- и звукоизоляционных материалов, пигментов. Благодаря структурным особенностям и химическому составу магнезиальные силикаты обладают ценными технологическими свойствами, которые позволяют получать изделия с хорошими диэлектрическими и термическими характеристиками, химической стойкостью и инертностью, механической прочностью.

Минерально-сырьевой потенциал Республики Карелия в отношении магнезиальных промышленных минералов и горных пород обусловлен особенностями геологического строения территории и эволюцией геологических процессов, проявившихся на ранних стадиях развития земной коры юго-восточной части Фенноскандинавского щита [Щипцов, 2012; Shchiptsov, 2015].

В настоящей статье представлены обобщенные данные о потенциальных ресурсах магнезиального сырья Республики Карелия, основанные на результатах многолетнего изучения минерагении региона различными производственными и научными геологическими организациями в ходе геолого-съёмочных, тематических и поисковых работ на разные виды полезных ископаемых, зафиксированных в большом количестве опубликованной литературы и фондовых материалов. В краткой форме рассмотрены основные обстановки формирования, особенности геологического строения, вещественного состава месторождений и проявлений магнезиальных промышленных минералов и горных пород Карелии. Определенное внимание уделено вопросам практического применения карельского магнезиального сырья

в различных направлениях на основе результатов минералого-технологических исследований, выполненных сотрудниками ИГ КарНЦ РАН и других организаций. На рис. 1 показано расположение наиболее перспективных месторождений и проявлений магнезиального сырья Республики Карелия.

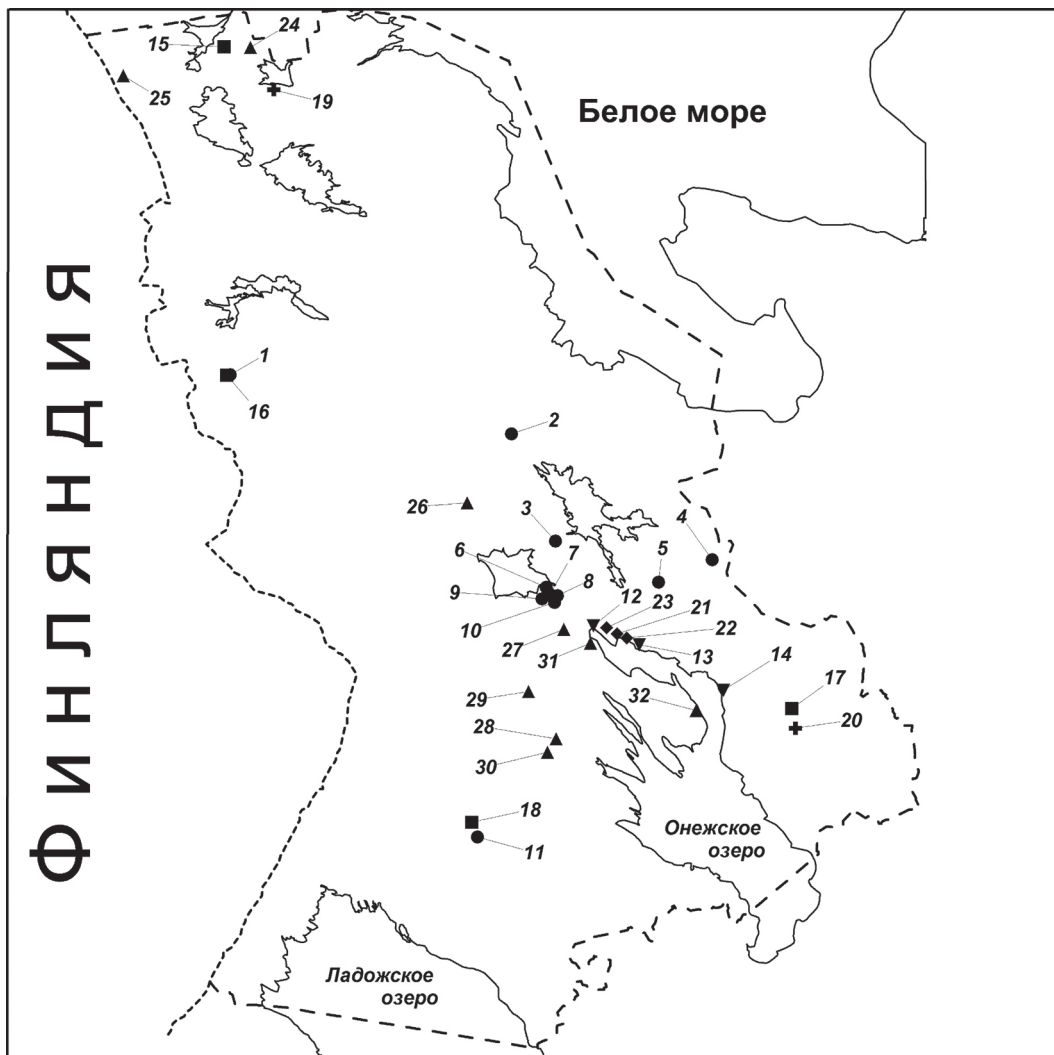
Эволюция эндогенных режимов и минерагения магнезиального сырья

Анализ пространственного размещения месторождений и проявлений магнезиальных промышленных минералов и горных пород на территории Карелии свидетельствует, что их формирование происходило в течение длительного временного интервала в различных геологических обстановках, характеризующих определенные геотектонические этапы эволюции земной коры Карельского региона.

Преобладающая часть месторождений и проявлений приурочена к областям развития магматических образований мафит-ультрамафитового состава различной фациальной и геодинамической принадлежности, формирование которых связано с архейскими и палеопротерозойскими эндогенными событиями в пределах основных структурно-вещественных комплексов юго-восточной части Фенноскандинавского щита. Часть месторождений и проявлений связаны с доломитами осадочно-вулканогенных толщ палеопротерозоя Карельского кратона.

С ранним этапом развития Карельского региона, проявившимся в формировании и развитии мезо-неоархейских зеленокаменных поясов, связано наиболее интенсивное проявление высокомагнезиального магматизма с образованием высокомагнезиальных вулканитов – коматиитов и комагматичных им интрузий гипербазитовой формации, слагающих от 3 до 12 % разрезов и приуроченных к нижним и средним их частям [Коматииты..., 1988]. Большие объемы мезоархейских ультрамафитовых образований характерны для Сумозерско-Кенозерского, Ведлозерско-Сегозерского, Южно-Выгозерского зеленокаменных поясов, Костомукшской структуры Карельского кратона.

Интрузии ультрамафитов приурочены главным образом к осевым частям зеленокаменных



• 1 ▾ 2 ■ 3 + 4 ◆ 5 ▲ 6

Рис. 1. Схема размещения месторождений и проявлений магнезиального сырья Республики Карелия (сост. В. В. Щипцов и Н. И. Щипцова):

1 – тальк и тальковый камень апоультрамафитового типа: 1 – Озерки; 2 – Парандовское; 3 – Урасозерское; 4 – Светлоозерское; 5 – Повенчанка; 6 – Каллиев-Муренненваара; 7 – Кала-Ламби; 8 – Вожема-озеро; 9 – Турган-Койван-Аллушта; 10 – Остерозеро; 11 – Игнойла. **2** – тальк апокарбонатного типа: 12 – Пиндушское; 13 – Габсельгское; 14 – Пудожгорское. **3** – серпентиниты и кемиститы: 15 – Ханкус; 16 – Таловейс; 17 – Аганозерское-1; 18 – Хаутаваарское. **4** – оливиниты: 19 – Шапкозерское; 20 – Аганозерское-2. **5** – щелочные асбесты: 21 – Краснополянское; 22 – Повенецкое; 23 – Сапеницкое. **6** – доломиты: 24 – Кукасозерское; 25 – Сояярвинское; 26 – Елмозеро; 27 – Чебино-Остречье; 28 – Пялозерское; 29 – Райгубско-Пялозерское; 30 – Виданское; 31 – Шайдомское; 32 – Кузарандовское

Fig. 1. Scheme of deposits and occurrences location of magnesium-rich raw materials of the Republic of Karelia (compiled by V. V. Shchiptsov and N. I. Shchiptsova):

1 – apo-ultramafic talc and soapstone: 1 – Ozerki; 2 – Parandovskoe; 3 – Urosozerskoe; 4 – Svetloozerskoe; 5 – Povenchanka; 6 – Kallievo-Murennenvaara; 7 – Kala-Lambi; 8 – Vozhema-Ozero; 9 – Turgan-Koivan-Allushta; 10 – Osterozero; 11 – Ignoila. **2** – apo-carbonate talc: 12 – Pindushskoe; 13 – Gabselgskoe; 14 – Pudozhgorskoe. **3** – serpentinites and kemistites: 15 – Hankus; 16 – Taloveys; 17 – Aganozerskoe-1; 18 – Hautavaarskoe. **4** – olivinites: 19 – Shapkozerskoe; 20 – Aganozerskoe-2. **5** – alkaline asbestos: 21 – Krasnopolyanskoe; 22 – Povenetskoe; 23 – Sapanitskoe. **6** – dolomites: 24 – Kukasozerskoe; 25 – Sovayarvinskoe; 26 – Elmozero; 27 – Chebino-Ostrechie; 28 – Pyalozerskoe; 29 – Raygubsko-Pyalozerskoe; 30 – Vidanskoe; 31 – Shaydomskoe; 32 – Kuzarandovskoe

поясов и трассируют зоны глубинных разломов. По структурно-текстурным признакам и химическому составу изохимически метаморфизован-

ных пород первичный состав массивов отвечает оливинитам и дунитам, пироксеновым оливинитам и перидотитам гарцбургитового, лерцоли-

тового и верлитового типа. Большинство интрузий характеризуются простым недифференцированным сложением, иногда отмечается слабо проявленная дифференциация от оливинитов до гарцбургитов-верлитов, горизонты ортопироксенитов отмечаются в массивах Северной Карелии [Лавров, 1979; Геология..., 1987].

В ряде зеленокаменных поясов развиты многофазные дифференцированные интрузии (например, Хюрсюльский массив Ведлозерско-Сегозерского пояса), первая фаза характеризуется дифференциацией (оливинит) – перидотит-пироксенит-габбро, образования второй фазы развиты в меньшем объеме и представлены сложно дифференцированными дайковыми телами верлит-клинопироксенит-габброноритового состава [Металлогения..., 1999].

Неоднократное проявление складчато-разрывных деформаций, магматизма, метаморфических и метасоматических процессов в ходе эволюции зеленокаменных поясов определило формирование апоультрамафитовых метаморфогенных месторождений и проявлений талька, талькового камня, хризотил- и антофиллит-асбеста, серпентинита.

Особенностью раннепалеопротерозойского этапа развития Карельского региона явилось заложение крупной внутриконтинентальной сумийской рифтогенной системы северо-западной ориентировки вдоль северо-восточной окраины Карельского кратона, появление которой связано с развитием мантийного плюма. Сопряженно с развитием осевой структуры и субпараллельных ей рифтогенных трогов (Онежская, Ветренный пояс, Лехтинско-Шомбозерская, Пана-Куоляярвинская структуры) в породах архейского фундамента формировалась система опережающих субширотных и северо-восточных трансформных разломов (Бураковско-Монастырская и Койлисама-Олангская зоны), сопровождавшихся внедрением комплексов расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузий перидотит-габброноритовой формации [Металлогения..., 1999; Рыбаков и др., 2000]. Массивы характеризуются стратиформно-гравитационной расслоенностью, свидетельствующей о формировании интрузий в спокойной тектонической обстановке в камерных условиях.

Высокомагнезиальный вулканизм в разрезах сумия-сариолия проявился в излиянии лав коматиитового состава в ассоциации с базальтами-андезиобазальтами в зоне Ветреного пояса и в Пана-Куоляярвинской структуре [Коматииты..., 1988].

С формированием мафит-ультрамафитовых расслоенных плутонов сумийского возраста

(Бураковский массив, Олангская группа интрузий) связан основной потенциал региона в отношении дунитов, оливинитов, являющихся ценным сырьем для производства форстеритовых огнеупоров.

Наступивший за рифтогенным протоплатформенный режим ятулийской стадии развития Карельского региона характеризовался интенсивным осадконакоплением в континентальных и морских условиях с формированием карбонатных и эвапоритовых толщ, которое на регрессивных стадиях прерывалось трехкратными вспышками платобазальтового вулканизма [Геология..., 1987]. Отложения ятулийского возраста развиты на территории Карелии в основном в районе Приладожья и от Онежского озера-Туломозера-Суоярви на север до озер Паанаярви и Куоляярви.

Развитие складчато-разрывных дислокаций в карбонатных и глинисто-карбонатных породах туломозерской свиты определило локализацию месторождений и проявлений щелочного асбеста и апокарбонатного талька гидротермально-метасоматического генезиса.

Людиковийский этап активизации рифтогенной структуры проявился в формировании суйсарского комплекса, представленного пикритовыми базальтами и комагматичными интрузиями габбро-перидотитов [Суйсарский..., 1999], и сопровождался становлением массивов щелочно-ультрамафит-габбровой формации [Corfu et al., 2011].

Пикрит-базальтовая формация наиболее развита в Онежской структуре, Ветреном поясе. Высокомагнезиальные вулканы слагают лавовые потоки пикритов, пикробазальтов, оливиновых и пироксеновых базальтов. Субвулканические пластовые интрузии габбро-перидотитовой формации наиболее распространены в Куоляярвинской, Гайкольской структурах, Ветреном поясе.

Дифференцированная щелочно-ультрамафит-габбровая формация развита в Северной Карелии и представлена двумя массивами: Еletzозерским и Тикшеозерским, характеризующимися сложным строением, обусловленным многократным внедрением эволюционирующей магмы. Значительные объемы в пределах Тикшеозерского массива слагают дуниты, оливиниты и пироксениты ранних фаз формирования.

Тальк и тальковый камень

Минерально-сырьевая база талькового сырья Республики Карелия представлена месторождениями и проявлениями апокарбонатного

и апоультрамафитового типов тальковых руд и талькового камня, сосредоточенными в юго-восточной части Карельского кратона (рис. 1). Данные о вещественном составе наиболее перспективных месторождений и проявлений приведены в табл. 1. Результаты изучения минералого-петрографических и петрохимических особенностей тальковых руд и талькового камня, а также выводы, касающиеся их генезиса, зафиксированы в фондовых отчетах В. Н. Фурманом [1995] и обобщены в статьях [Фролов, 2003; Фролов, Фурман, 2003].

Основная часть запасов тальковых руд представлена одним месторождением и семью проявлениями тальковых руд апоультрамафитового типа [Минерально-сырьевая..., 2006], которые выявлены работами производственных организаций в результате поисков и оценки месторождений медно-никелевых руд. Залежи приурочены к ультрамафитовым массивам архейского возраста и комагматичным им коматиитам, локализованным в реликтовых структурах архейских зеленокаменных поясов.

По минеральному составу и структурным особенностям выделяется четыре природных типа апоультрамафитовых тальковых руд: 1 – карбонат-тальковые крупнозернистые, порфиروبластовые; 2 – карбонат-тальковые мелкозернистые; 3 – хлорит(серпентин)-карбонат-тальковые разнозернистые; 4 – карбонат-хлорит-тальковые мелкозернистые [Фурман, 1995]. Характерной особенностью руд 3 и 4 типов является повышенное содержание в них хлорита (до 35 %), образующего листоватые, тонкочешуйчатые агрегаты, находящиеся в тесном срастании с тальком. Условная граница между 1, 2 и 3, 4 типами руд определяется по концентрации Al_2O_3 на уровне 1 % [Фурман, 1995].

В соответствии с классификацией И. Ф. Романовича [1973], массивные разновидности тальковых руд, характерные преимущественно для 1 и 2 типов, относятся к тальковым камням (брейнерит-тальковым), преобладающая часть руд 3 и 4 типов, со сланцеватыми и сланцеватополосчатыми текстурами, представляет собой тальковые сланцы.

Отличия в вещественном составе различных природных типов тальковых руд определяют значительные различия их технологических свойств. Наиболее качественными являются руды 2 типа, имеющие минимальное количество вредных технологических примесей (хлорит, серпентин, магнетит, сульфиды). Руды 1 типа по минеральному составу близки к рудам 2 типа, но постоянная примесь магнетита

в них вдвое больше, чем в последних. Руды 3 и 4 типов являются низкосортными и характеризуются пониженными показателями выхода талькового концентрата.

Основу минерально-сырьевой базы апоультрамафитового талька составляют два объекта – Светлоозерское месторождение и проявление Повенчанка с предварительно оцененными запасами категории C_2 39,7 млн т и ресурсами P_1+P_2 31,4 млн т, а также проявление Игнойла с ресурсами категории P_1 15,2 млн т [Фурман, 1995; Михайлов и др., 2006].

Светлоозерское месторождение тальковых руд локализовано в Западно-Светлоозерском массиве ультрамафитов, расположенном в южной части Каменноозерской зеленокаменной структуры, и представлено тремя крутопадающими пластовыми залежами: Южной, Восточной и Центральной, мощностью от 5 до 150 м и протяженностью от 0,8 до 2 км. Массив комагматичен коматиитам кумбуксинской толщи и, по данным некоторых исследователей [Куликова и др., 1994], может рассматриваться как коматиитовый силл или пачка нескольких мощных потоков. Центральная залежь отличается более простым строением, более выдержанным качеством руд, повышенной мощностью и лучшими горно-техническими условиями. Типы руд 1–3 составляют 98 % объема Центральной залежи и находятся в соотношении 1:1:1 [Фурман, 1995; Михайлов и др., 2006]. Также промышленный интерес может представлять центральная часть Восточной залежи, примыкающая к телам медно-никелевых руд, при их совместной отработке.

Проявление тальковых руд Повенчанка локализовано в северной части Рыбозерской зеленокаменной структуры и приурочено к коматиитам вожминской серии мезоархея. Проявление представлено тремя крутопадающими пластообразными залежами тальковых руд: Восточной, Центральной и Западной, мощностью от 50 до 250 м и протяженностью до 625 м, прослеженными на глубину до 200 м. Наиболее однородным строением и относительно выдержанным качеством руд характеризуется Восточная залежь. Руды 1 и 2 типов в сумме составляют до 50 % объема залежей проявления (содержание руды 1 типа около 5 %) и относятся к 3 типу как 1:1,35 [Фурман, 1995].

Проявление тальковых руд Игнойла расположено в центральной части Хаутаваарской зеленокаменной структуры, приурочено к пластообразному массиву серпентинитов Корудъярви. Проявление представлено двумя пластообразными крутопадающими залежами тальковых руд мощностью 50–100 м

и протяженностью до 350 м, локализованными в западном висячем боку массива. По падению залежи прослеживаются на глубину более 300 м. По минеральному составу тальковые руды представлены 3 природным типом.

Технологическими испытаниями природных типов руд Светлоозерского месторождения и проявлений Повенчанка и Игнойла во ВНИИНеруд с применением обогащения по флотационно-магнитной схеме и микронизации установлена возможность получения высококачественных безреагентных концентратов микроталька с белизной до 83–86 % при выходе 17–30 %, пригодных для использования в целлюлозно-бумажной и лакокрасочной промышленности. Попутно возможно получение реагентного талькового концентрата для производства резинотехнических изделий и пластмасс, а также для использования в керамической промышленности [Фурман, 1995; Минерально-сырьевая..., 2006].

Известные на территории Карелии тальковые руды апокарбонатного типа приурочены к магнезиально-карбонатным образованиям терригенно-карбонатно-глинистого комплекса туломозерской свиты ятулийского надгоризонта нижнего протерозоя и локализованы в северо-восточном крыле Онежской структуры. Тальковая минерализация установлена в 35 скважинах, расположенных на площади около 300 м² [Ганин, 1989; Минерально-сырьевая..., 2006].

Пудожгорское проявление расположено в 500 м к западу от п. Пудожгорский. По данным бурения, полого падающая (25–30°) зона оталькования мощностью от 7 до 11 м приурочена к зоне гидротермальной переработки брекчированных карбонатно-глинистых сланцев и доломитов в экзоконтакте висячего бока силла габбродолеритов.

Проявление тальковых руд Габсельгское локализовано в экзоконтактной зоне габбродолеритов Габсельгского силла с терригенно-карбонатной толщей туломозерской свиты. Изученность проявления слабая, однако полученные по скважинам данные свидетельствуют о значительной мощности тальконосных зон, достигающей 10–15 м. Отличительной особенностью проявления является значительное количество хлорита, снижающего качество тальковой руды [Максимов и др., 2015].

Минерально-сырьевая база талькового камня представлена тремя месторождениями и 14 проявлениями [Минерально-сырьевая..., 2006], приуроченными к ультрамафитовым интрузиям и вулканитам архейского возраста. Значительная часть проявлений и два место-

рождения талькового камня сосредоточены вдоль юго-восточного побережья оз. Сегозеро, в пределах Сегозерской блоковой структуры, обрамленной с запада и востока осадочно-вулканогенными образованиями Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, где были выявлены и изучены первые находки тальк-хлоритовых пород (горшечного камня) в конце XIX века [Иностранцев, 1875].

Месторождение Турган-Койван-Аллуста приурочено к интрузии серпентинизированных перидотитов и представлено тремя промышленными залежами: западной, центральной и восточной, размерами 250×70, 240×70 и 230×170 м соответственно. Западная и центральная залежи сложены сланцеватыми серпентинсодержащими карбонат-хлорит-тальковыми породами с линзами кварцсодержащих пород. Восточная залежь представлена карбонат-хлорит-тальковыми, серпентин-хлорит-тальковыми, кварц-карбонат-хлорит-тальковыми и тальк-хлорит-амфиболовыми минеральными разновидностями [Фурман, 1995]. Месторождение было детально разведано в 1957 г. как сырье для производства дуста из карбонат-тальк-хлоритовых сланцев.

В соответствии с меморандумом о международном сотрудничестве между Tulikivi Group и ИГ КарНЦ РАН, а также выданной финской компании лицензией была осуществлена до-разведка месторождения Турган-Койван-Аллуста [Иванов, 2007]. Результаты бурения показали повышенную трещиноватость талькового камня до глубины 20 м, в связи с чем дальнейшие работы были приостановлены.

Месторождение Каллиев-Муренненваара локализовано в дифференцированной мафит-ультрамафитовой линзе, залегающей среди архейских гранитогнейсов, и приурочено к серпентинизированным ультраосновным вулканитам, ранее описываемым как пикриты (по содержанию TiO₂ < 1 % породы, вероятно, относятся к коматиитовой серии). Залежь талькового камня прослеживается в субширотном направлении на 450 м при средней мощности 40–65 м (падение СЗ под углом 50–60°).

Рассланцованность карбонат-хлорит-тальковых пород месторождения Каллиев-Муренненваара более умеренная, чем на месторождении Турган-Койван-Аллуста, благодаря чему при его разработке, проводившейся в 1925–1941 гг., выход монолитов весом 300–350 кг составлял около 10 %, а выход из этих монолитов товарного камня размером 0,35×0,3×0,3 м – от 33 до 64 %. В результате геологоразведочных работ, проведенных в последние годы, тальковый камень верхней части

Таблица 1. Вещественный состав и запасы тальковых пород Республики Карелия [по: Ганин, 1989; Фурман, 1995; Михайлов и др., 2006; Шеков и др., 2010]
 Table 1. Mineral composition and reserves of talc rocks of the Republic of Karelia [Ganin, 1989; Furman, 1995; Mikhailov et al., 2006; Shekov et al., 2010]

Тип руды Ore type	Минеральный состав, % Mineral composition, %						Химический состав, % Chemical composition, %						Белизна руд, сред- нее, % Ore white- ness, average, %	Запасы, млн т, по кат. С2 (тальк); Запасы, тыс. м ³ , С ₁ +С ₂ (тальковый камень) Reserves, min tons, cat. C2 (talc); Reserves, thousand m ³ , С ₁ +С ₂ (soapstone)	Ресурсы, млн т, суммарно (тальк) Resources, min tons, total (talc)
	Tlc	Crhb	Chl	Mgt	Serp	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	п.п.п. LOI			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Апоультрамафитовый тип
Apo-ultramafic

Месторождения тальковых руд
Talc ore deposits

I	Светлоозерское * Svetloozerskoe *														
	40-60	30-50	0-5	5-15	0-15	31,23	0,06	0,71	31,61	12,25	1,39	21,57	61,40	2,9	62,1
II	45-65	35-50	0-10	1-6	31,54	0,08	1,06	29,94	11,43	3,21	21,74	70,20			
III	35-80	10-30	10-40	0-3	34,60	0,21	2,59	26,72	12,12	4,91	18,70	68,40			
IV	35-80	10-30	10-40	0-3	39,73	0,25	3,54	25,62	11,97	4,47	14,37	68,40			

Проявления тальковых руд
Talc ore occurrences

I	Повенчанка * Povenchanka *														
	30-60	24-50	-	2-10	5	29,29	0,07	0,61	34,85	7,20	1,31	26,32	71,4	36,8	11,03
II	40-65	30-60	3-7	1-8	29,72	0,06	0,41	32,67	7,97	3,06	25,39	73,5			
III	35-80	6-45	3-40	1-15	33,79	0,18	1,89	29,56	10,64	3,55	20,04	68,1			

Игнойла *
Ignoila *

III	20-65	10-65	2-50	3-15	24,9-39,35	0,07-0,23	1,85-3,95	18,9-33,53	6,3-21,06	0,28-12,56	9,18-24,8	56,5			15,2
-----	-------	-------	------	------	------------	-----------	-----------	------------	-----------	------------	-----------	------	--	--	------

Окончание табл. 1
Table 1 (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Месторождения талькового камня Soapstone deposit															
Турган-Койван-Аллушта Turgan-Koivan-Allusta	40-80	5-25	25-45	6	0-20	35,7-43,0	0,18-0,35	5,27-8,40	23,45-28,3	2,12-5,93	3,12-8,43	9,73-16,18		6470 + 1433	
Каллиево-Муреннен-ваара Kallievo-Murennen-vaara	41-46	18-27	32-35	1,4-3,5	0-34	28,6-35,8	0,02-0,23	3,9-9,9	23,8-28,2	5,1-6,8	4,1-6,8	4,2-8,1		303,9 + 142,8	
Озерки Ozerki	42-81	7,5-33	2-35	3-21	0,5-2	38,38	0,25	5,15	27,09	8,56	5,4	14,16		790,4 + 1327,6	

Апокарбонатный тип
Apo-carbonate

Проявления тальковых руд Talc ore occurrences															
Пиндушское** Pindushskoe**	23					59,5		2,6	29,2	0,9			54,7		62
Пудожгорское Pudozhgorskoe						33,6	0,32	9,7	33,02	1,7	4,63	16,2			

Примечание. Tlc – тальк, Crb – карбонаты, Chl – хлорит, Mgt – магнетит, Srp – серпентин. *Для месторождения и проявлений тальковых руд по минеральному составу и структурным особенностям выделены следующие типы руд [по: Фурман, 1995]: I – карбонат-тальковые крупнозернистые, порфиробластовые, массивные; II – карбонат-тальковые мелкозернистые, преимущественно массивные; III – хлорит(серпентин)-карбонат-тальковые разнозернистые, сланцеватые, полосчатые; IV – карбонат-хлорит-тальковые разнозернистые, тонкосланцеватые, сланцевато-полосчатые. **Приведены данные химического состава концентрата тальковой руды.

Note. Tlc – talc, Crb – carbonates, Chl – chlorite, Mgt – magnetite, Srp – serpentine. *For deposit and occurrences of talc ores the following types of ores have been identified by mineral composition and structural features [after Furman, 1995]: I – carbonate-talc coarse-grained, porphyroblastic, massive; II – carbonate-talc fine-grained, mostly massive; III – chlorite (serpentine)-carbonate-talc heterogeneous, schistose, banded; IV – carbonate-chlorite-talc, heterogeneous, finely schistose, schistose-banded. **Chemical composition of talc ore concentrate is given.

месторождения (до глубины 20 м) переоценен на блочный камень [Архангельский, 2003]. В настоящее время ООО «Горизонт» ведет добычу пород месторождения.

Кроме месторождений и проявлений Сегозерской группы большинство проявлений талькового камня отличаются слабой изученностью качества полезного ископаемого, незначительными ресурсами и неблагоприятными горно-техническими условиями.

В рамках программы приграничного сотрудничества ТАСИС проекта КОССТОУН в 2005–2006 гг. сотрудниками ИГ КарНЦ РАН совместно со специалистами из Геологической службы Финляндии открыто **месторождение талькового камня Озерки**, локализованное в Костомукшской зеленокаменной структуре. В результате поисково-оценочных работ [Шеков, 2010] в пределах двух участков Озерки-1 и Зеленая горка выявлены крутопадающие пласто-

образные тела метаультрамафитов мощностью 130–350 м и протяженностью до 450 м, которые, по данным бурения, представлены чередующимися дифференцированными и недифференцированными лавовыми потоками, а также лавобрекчиями метакоматиитов с редкими прослоями туфов. Метакоматииты представлены породами хлорит-амфиболового, (карбонат)-амфибол-тальк-хлоритового и карбонат-хлорит-талькового (тальковый камень) состава, между которыми наблюдаются постепенные переходы.

На участке Озерки-1 тальковый камень формирует пластообразные тела небольшой мощности от 5–10 до 30 м, протяженностью до 150 м. На участке Зеленая горка, представляющем наибольший промышленный интерес, преобладают карбонат-хлорит-тальковые породы, слагающие наиболее мощное тело (до 200 м) в центральной части участка протяженностью 450 м (рис. 2).

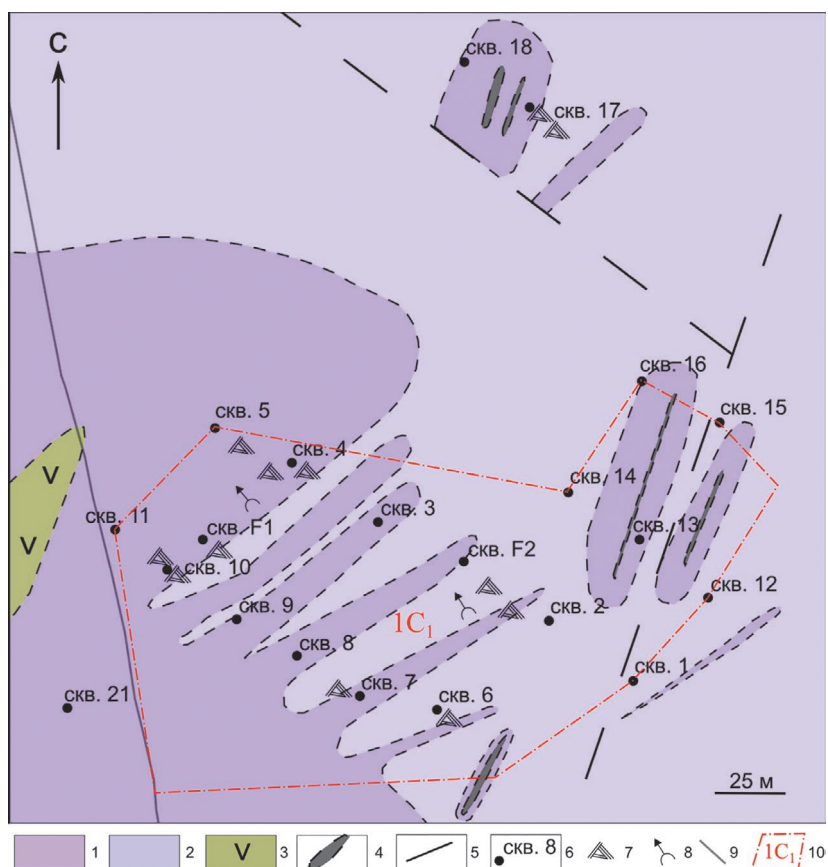


Рис. 2. Схема геологического строения участка Зеленая горка месторождения талькового камня Озерки:

1 – хлорит-амфиболовые и (карбонат)-амфибол-тальк-хлоритовые породы; 2 – карбонат-хлорит-тальковые породы (тальковый камень); 3 – metabasalts; 4 – метагаббро; 5 – тектонические нарушения; 6 – скважины; 7 – зоны спинифекс-структур; 8 – направление кровли лавового потока; 9 – дорога; 10 – контур подсчета запасов категории C₁

Fig. 2. Schematic geological map of the Zelenaya Gorka prospect at the Ozerki soapstone deposit:

1 – chlorite-amphibole and (carbonate)-amphibole-talc-chlorite rocks; 2 – carbonate-chlorite-talc rock (soapstone); 3 – metabasalts; 4 – metagabbro; 5 – faults; 6 – drill holes; 7 – spinifex texture zones; 8 – direction of lava flowtop; 9 – road; 10 – C₁ resources contour

Исследование вещественного состава пород месторождения и сопоставление особенностей размещения различных типов пород в толще ультраосновных вулканитов с составом и строением отдельных потоков метакоматиитов показало, что тальковый камень приурочен к наиболее магнезиальным кумулятивным зонам дифференцированных лавовых потоков и характеризуется переменным соотношением талька, хлорита и карбоната, отражающим первичную химическую неоднородность коматиитов [Климовская, Иванов, 2018].

Тальковый камень карельских месторождений и проявлений характеризуется широкими вариациями минерального состава и значительным содержанием хлорита, что ограничивает его применение для получения высококачественного талькового концентрата вследствие сложности разделения талька и хлорита в процессе обогащения. Основными минеральными разновидностями талькового камня являются карбонат-хлорит-тальковый, серпентин-хлорит-тальковый и тальк-хлорит-амфиболовый [Фурман, 1995]. Тальк-карбонатные породы известных месторождений и проявлений тальковых руд Карелии также следует рассматривать в качестве потенциальных источников талькового камня, на территории соседней Финляндии аналогичные породы уже на протяжении более 100 лет добываются и с успехом используются в производстве теплоаккумулирующих печей и каминов.

Лабораторные исследования свойств тальк-хлоритовых пород месторождений Каллиево-Муренненваара и Турган-Койван-Аллушта, выполненные в ИГ КарНЦ РАН, показали, что при термообработке тальковый камень приобретает высокую пористость и прочность, более значительную морозостойкость и стойкость к воздействию агрессивных сред, которые позволяют использовать его в футеровке тепловых агрегатов, для изготовления обожженных прессованных изделий, в качестве наполнителя для композиционных материалов, для производства керамических изделий с улучшенными свойствами и др. [Соколов, 1995].

Дополнительно разработаны и апробированы пути применения талькового камня в технике, металлургии, в области строительных материалов. В частности, получены материалы-наполнители для особо прочных, жаростойких, морозостойких бетонов, разработаны технологии приготовления футеровки теплоаккумуляторов [Соколов, 1995; Заверткин и др., 2016], изготовлены опытные образцы разнообразной по качеству и областям применения керамики [Лебедева и др., 2012; Щипцов и др., 2013;

Ильина и др., 2014]. Талькосодежащие породы с определенными специфическими свойствами могут найти применение в триботехнике.

Оливиниты и дуниты

Основные потенциальные ресурсы оливинитов и дунитов на территории Карелии приурочены к протерозойским интрузиям – расчлененным плутонам сумийского возраста (Бураковский массив, Олангская группа интрузий), людиковийскому дифференцированному Тикшеозерскому массиву. Также оливинитами сложены значительные по площади центральные части недифференцированных ультрамафитовых интрузий в Северной Карелии, возрастная позиция которых дискуссионна.

Бураковский массив расположен в южной части Водлозерского блока и образован двумя самостоятельными телами – Аганозерским и Шалозерско-Бураковским, отличающимися автономным внутренним строением [Чистяков, 2004]. В строении Аганозерского блока доминируют в различной степени серпентинизированные ультрамафиты (70 %), основные породы развиты в его юго-западной части [Лавров и др., 1976; Ганин, 1989]. Ультраосновная зона, образованная оливин-хромшпинелевыми кумулатами, включает нижние горизонты расслоенной серии. По соотношению кумулятивных и интеркумулятивных минералов нижняя часть разреза ультраосновной зоны мощностью около 3 км сложена дунитами, верхняя (0,4 км) – перидотитами. Интеркумулятивные минералы представлены пироксенами, плагиоклазом, флогопитом. В обеих подзонах установлена неясно выраженная ритмичность с уменьшением содержания оливина от подошвы (до 95 %) к кровле (до 50 %) ритмов. Отмечается незначительное снижение магнезиальности оливина вверх по разрезу ультраосновной зоны от Fo_{90} до Fo_{86} [Чистяков, Шарков, 2008]. В приповерхностной части до глубины 900 м ультрамафиты интенсивно серпентинизированы. Завершает разрез ультраосновной зоны главный хромитовый горизонт, представляющий собой стратиформную залежь мощностью 2–6 м, которая является маркирующим горизонтом между основной и ультраосновной частями расслоенных серий [Металлогения..., 1999]. Химический состав ультрамафитов Аганозерского блока Бураковской интрузии представлен в табл. 2.

Тикшеозерский массив входит в состав Тикшеозерско-Елетьозерского комплекса, выделяемого в Северной Карелии. Представляет собой субмеридионально вытянутое лополито-

Таблица 2. Средний химический состав ультрамафитов Аганозерского блока [Горошко, 1998]

Table 2. Average chemical composition of ultramafites of the Aganozero block [Goroshko, 1998]

Оксиды	1 (168)	2 (16)	3 (12)	4 (20)	5 (40)
SiO ₂	40,09	41,61	34,06	32,91	32,59
TiO ₂	0,06	0,02	0,01	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	0,33	0,62	0,51	0,43	0,10
Fe ₂ O ₃	9,57	1,55	10,02	7,21	9,80
FeO	3,57	9,01	2,03	2,09	3,78
MnO	0,18	0,13	0,12	0,12	0,14
MgO	45,71	44,87	35,69	37,83	37,16
CaO	0,36	0,44	0,50	0,47	0,24
Na ₂ O	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
K ₂ O	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
P ₂ O ₅	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03
п.п.п.	-	2,23	17,0	17,75	15,03
Сумма	100	100,61	100,03	98,93	98,94
CO ₂	0,22	0,48	0,57	1,8	0,66
Cr ₂ O ₃	0,22	0,24	0,30	0,38	0,38
NiO	0,45	0,45	0,38	0,39	0,42

Примечание. 1 – средневзвешенный состав ультрамафитов Аганозерского блока в пересчете на сухое вещество [Ганин, 1989], 2 – дунит, 3 – серпентинит, 4 – кемистит по α-лизардитовому серпентиниту, 5 – кемистит по β-лизардитовому серпентиниту. В скобках – количество проб.

Note. 1 – weighted average composition of ultramafites of the Aganozero block in terms of dry matter [Ganin, 1989], 2 – dunite, 3 – serpentinite, 4 – kemistite after α-lizardite, 5 – kemistite after β-lizardite. In brackets – the number of samples.

образное тело, разбитое на три крупных блока – Тикшеозерский, Центральный и Шапкозерский, сложенных оливинами (~8 км²), пироксенитами, ийолитами, тералитами, щелочными габбро и габброноритами, нефелиновыми сиенитами. В центре Центрального блока штокообразное тело слагают карбонатиты [Щипцов и др., 2007; Corfu et al., 2011; Шарков и др., 2019]. Оливиниты наиболее развиты в Шапкозерском блоке (**Шапкозерское проявление**), характеризуются средне-крупнозернистым сложением. Кроме оливина (Fo₈₈₋₉₀), содержащего до 0,3 % Ni и 0,006–0,010 % Cr₂O₃, характерным минералом является хромшпинелид. Реже встречается интерстициальный титаномагнетит. Оливиниты неравномерно, чаще интенсивно, серпентинизированы.

Дуниты и оливиниты широко применяются в огнеупорной и керамической промышленности [Ильина и др., 2011]. Форстерит, получаемый после обжига исходного сырья, оказывает определяющее влияние на прочность, термостойкость и химическую стойкость керамики. В металлургии дуниты используют для получения огнеупорной составляющей плавильных печей, выдерживающих высокие температуры – до 1700 °С. Добавление дунита и талька в глину позволяет получить особый кордиерит, стойкий к высоким температурам за счет низкого расширения структуры полученного изделия. Имеются широкие перспективы использо-

вания дунита в составе строительных смесей, за счет его активных гидратационных и вяжущих свойств. В частности, оправдывается его применение в производстве цемента, что к тому же значительно снижает затраты на себестоимость смеси [Ильина и др., 2011].

Анализ химического состава оливинитов и дунитов известных карельских проявлений свидетельствует, что по содержанию Al₂O₃ и CaO они удовлетворяют требованиям к магнезиальному сырью для производства форстеритовых огнеупоров, но содержат повышенное количество Fe₂O₃+FeO (8–11 %), связанное с присутствием магнетита [Лавров, 1979; Ганин, 1989; Лавров и др., 2004]. Для решения вопроса о возможности их применения необходимо проведение отдельных исследований по обогащению. Так, использование гравитационных и магнитных методов для обогащения дунитов Сопчеозерского месторождения, содержащих до 13 мас. % Fe₂O₃, позволило получить концентраты, пригодные для синтеза форстеритовых огнеупоров, отвечающих требованиям стандартов и потребителей [Калинников и др., 2003].

Исследованиями, выполненными в ИГ КарНЦ РАН, установлено, что оливиниты Тикшеозерского массива являются потенциальным источником для получения плавящихся фосфатно-магниевого удобрений [Каменева и др., 2004].

Серпентиниты

Серпентиниты являются характерными продуктами метаморфического изменения интрузивных и эффузивных оливинсодержащих пород: оливинитов, дунитов, перидотитов, коматиитов, пикритов. На территории Карельского региона ультрамафиты различных формационных типов, характеризующие определенные тектоно-магматические этапы развития, отличаются по степени и характеру серпентинизации. Отмечается тенденция уменьшения степени серпентинизации по мере увеличения возрастного разрыва между ультрамафитами и вмещающими их породами, что является одним из критериев возрастного расчленения ультраосновных пород при отсутствии наложенных процессов [Кулешевич, 1992].

Серпентинизация наиболее широко проявлена в ультрамафитах архейских зеленокаменных поясов. Серпентиниты практически нацело слагают центральные части крупных интрузивов дунит-перидотитового ряда, к периферии сменяясь хлорит-амфиболовыми породами в эндоконтактной зоне. В коматиитах степень серпентинизации контролируется химическим составом соответствующих зон лавовых потоков, высокое содержание серпентина отмечается в наиболее высокомагнезиальных кумулятивных зонах в основании дифференцированных потоков, сопутствующими минералами являются амфибол и хлорит, количество которых возрастает с уменьшением магнезиальности и увеличением количества кальция, алюминия, кремния в протолите.

Для архейских ультрамафитов наиболее характерен антигоритовый тип серпентинизации, развивающейся на ранней орогенной стадии лопийского этапа регионального метаморфизма в условиях высокотемпературной зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. Процесс антигоритизации наиболее интенсивно протекает вблизи контактов с вмещающими породами, дайками, в зонах трещиноватости. В ядрах некоторых массивов сохраняются реликтовые блоки ранних хризотил-лизардитовых серпентинитов, с которыми в ряде дунитовых интрузий ассоциируют проявления хризотил-асбеста.

Ультрамафиты протерозойского возраста характеризуются более низкой степенью серпентинизации и преимущественным развитием хризотил-лизардитовых серпентинитов, антигоритизация в большей степени развита в интрузивных ультрамафитах Северо-Карельской складчатой зоны (Куоляярвинский, Ханкусъярвинский, Кукаозерский комплексы).

Требования к химическому составу серпентинитов, применяемых в разных видах промышленности, различны. Серпентинит, использующийся в качестве наполнителя в производстве электрокерамики, кровельных и гидроизоляционных материалов, огнеупорных порошков, жаростойких цементов, минеральных удобрений, для очистки воды и сернистых газов, должен содержать MgO не менее 35 %, CaO – не более 2 %, SiO₂ – не менее 30 %, Fe₂O₃ – не более 6 %, п.п.п. – не более 18 % [Ильина и др., 2011]. Особенности химического состава карельских серпентинитов по эффузивным ультрамафитам ограничивают их использование в данных направлениях [Фролов и др., 2011]. Химический состав серпентинитов, сформировавшихся по ультрамафитам различных формационных типов, определяется исходным химическим составом магматитов и химизмом вторичных метаморфогенно-метасоматических преобразований. Применение аподунитовых, апооливинитовых и апоперидотитовых серпентинитов различных формационных типов, отвечающих требованиям по содержанию MgO, CaO, SiO₂, Al₂O₃, но характеризующихся повышенным количеством оксидов железа, связано с необходимостью получения маложелезистых концентратов.

В результате проведенных в ИГ КарНЦ РАН исследований по обогащению антигоритовых серпентинитов Светлоозерского месторождения тальковых и медно-никелевых руд и лизардитовых серпентинитов Аганозерского месторождения хромовых руд низкожелезистый концентрат получен только на основе Светлоозерского серпентинита [Каменева и др., 2004]. Особенности распределения включений рудных минералов, а также высокая концентрация катионов железа в лизардите Аганозерских серпентинитов не позволили получить кондиционные концентраты серпентина, удовлетворяющие требованиям ряда отраслей промышленности [Фролов и др., 2013]. Однако для серпентинитов, используемых в качестве наполнителя бетона, высокое содержание железа не является недостатком, а, напротив, повышает защитные свойства бетона, применяемого в качестве биологической защиты атомных реакторов [Серпентинит..., 1973]. Это могло бы расширить области использования карельских серпентинитов в случае строительства в регионе АЭС.

В результате технологических экспериментов на основе серпентинового концентрата Светлоозерского месторождения разработан состав и получены образцы кордиеритовой керамики с электроизолирующими свойствами

и низким коэффициентом термического расширения [Каменева и др., 2004].

Совместными исследованиями с ИХТРЭМС КНЦ РАН показана возможность использования термоактивированных серпентинизированных ультрамафитов Карело-Кольского региона в природоохраных технологиях. Вяжущие свойства серпентинитов обусловлены наличием активной метастабильной фазы, которая обеспечивает получение прочного гранулированного реагента для очистки воды от тяжелых металлов [Ilyina et al., 2017].

Предварительные испытания проб серпентинизированных ультрамафитов Аганозерского блока Бураковской интрузии на машине трения и частичное апробирование результатов испытаний на реальных механизмах показали перспективность их использования для приготовления высокоэффективных триботехнических смесей [Фролов и др., 2013].

Кемиститы

Кемиститы представляют собой породы гидроталькит-лизардитового состава, характеризующиеся высоким (70–95 %) содержанием кислоторастворимых форм никеля, магния и железа, метастабильностью (выражающейся в самопроизвольном разрушении породы до рыхлого состояния после извлечения из недр), высокой пористостью (3–12 %) и электропроводностью. Практически весь никель изоморфно входит в состав серпентинитов и гидроталькитов. В качестве второстепенных минералов отмечаются хризотил, реже антигорит, магнетит и хромит [Горошко, 1998].

По гранулометрическому составу пород в конечной стадии саморазрушения выделяются алевритовые, песчаные, дресвяные и щебенистые разновидности, а также их смеси. Иногда отмечаются массивные разновидности кемиститов пониженной прочности и повышенной кислоторастворимости.

Установлено, что основными продуктами переработки кемиститов гидрометаллургическим способом являются магнезия (MgO 96–98 %), водный сульфат никеля (Ni 21–27 %) и легко поддающийся разложению магнезиально-силикатный остаток (MgO 40–42 %) [Горошко, 1998].

Залежи кемиститов локализованы в трех массивах Карелии: верхнеархейских Хюрсюльском и Кученогорском и раннепротерозойском Бураковском [Горошко, 1998].

В пределах Аганозерского блока Бураковской интрузии кемиститы пространственно ассоциируют с аподунитовыми серпентинитами

ультрамафитовой зоны и имеют линзовидно-пятнистое распространение. Самая значительная кемиститовая залежь имеет в плане форму асимметричной дуги размером 12×3,5 км, которая окаймляет с востока и севера хромитоносную мульду габброноритов. В разрезе залежь имеет форму крупной линзы со сложными очертаниями и мощность не менее 800 м. Химический состав кемиститов представлен в табл. 2.

Хюрсюльский массив локализован в Хаутаваарской зеленокаменной структуре и представляет собой двухфазную дифференцированную интрузию, сложенную апооливинитовыми и апоперидотитовыми серпентинитами, метапироксенитами и метагаббро. В западной части массива расположен блок апооливинитовых серпентинитов, к ядру которого приурочена крутопадающая плитообразная кемиститовая залежь, прослеженная до глубины 320 м.

Кученогорский массив входит в Уросозерскую группу ультрамафитов, сложен интенсивно серпентинизированными (до глубины 400 м) оливинитами (в ядре) и перидотитами (в краевой зоне). По данным бурения, кемиститы развиты до глубины 400 м в центральной части массива в виде сближенных и сливающихся зон субгоризонтального или наклонного залегания, чередующихся с обычными серпентинитами.

На основе кемиститов Аганозерского месторождения в ИГ КарНЦ РАН разработана сырьевая смесь для изготовления пористого теплоизоляционного материала с низкими показателями теплопроводности и высокой влагостойкостью, что позволяет использовать предлагаемую керамику в качестве теплозащитного материала для тепловых агрегатов и морозильных камер [Ильина, 2013; Ильина и др., 2013]. Также установлено, что необогащенный кемистит применим для получения термостойкой кордиеритовой керамики [Ильина и др., 2011].

Пироксениты

На территории Карелии зоны пироксенитов преимущественно приурочены к раннепротерозойским расслоенным интрузиям перидотит-габброноритовой формации, дифференцированным массивам габбро-перидотитовой и щелочно-ультрамафит-габбровой формаций. В Беломорской провинции ортопироксениты слагают мелкие интрузивные тела архейской гипербазитовой формации.

В Бураковском массиве наиболее мощная (190–200 м) зона пироксенитов, представленная в Аганозерском блоке, сложена преимущественно клинопироксенитами и вебстеритами

и их оливиновыми разновидностями, с прослоями лерцолитов, гарцбургитов и ортопироксенитов. В Шалозерско-Бураковском блоке зона пироксенитов имеет мощность 20–80 м и представлена кумулятивными пироксенитами. В составе нижней части зоны (мощность 20–50 м) преобладают вебстериты и оливиновые вебстериты, верхняя часть (мощность до 25 м) сложена орто- и дупироксеновыми кумулатами. В средней части разреза пироксенитовой зоны выделяется горизонт перидотитов [Чистяков, Шарков, 2008].

В Тикшеозерском массиве пироксениты наиболее развиты в пределах Тикшеозерского и Центрального блоков. Состав пироксенитов определяется клинопироксеном (титанавгит, 50–90 %), второстепенные минералы представлены керсутитом (10–15 %), биотитом (2–14 %), плагиоклазом (An_{50-60} 0–20 %), оливином (до 5, иногда до 10–12 %) и титаномагнетитом (до 10, иногда до 25–30 %). Акцессорные минералы включают апатит, ильменит [Астафьев и др., 2012].

Маложелезистые клинопироксениты Тикшеозерского массива являются перспективным сырьем для производства минеральной ваты. Проведенные в лабораторных условиях эксперименты показали легкоплавкость пироксенитов (температура плавления 1300–1350 °С) и высокую жидкотекучесть [Минерально-сырьевая..., 2006]. На основе пироксенитов Аганозерского блока Бураковского массива разработаны составы малоусадочных облицовочных и фасадных плиток с высокой прочностью, а также керамического пигмента [Ильина, Фролов, 2019]. Некоторые разновидности пироксенитов, с соответствующими декоративными свойствами, используются в качестве облицовочного камня (месторождение Сопка Бунтина в Северной Карелии).

Доломиты

Карельские карбонатные породы приурочены к отложениям ятулийского и людикийского надгоризонтов нижнего протерозоя. Среди карбонатных пород Карелии наиболее широко распространены доломиты и доломитовые мраморы, варьирующие по химическому составу, структурам и текстурам. Кроме кальцита и доломита мраморы содержат разнообразные минеральные примеси: кварц, гематит, лимонит, хлорит, актинолит, серпентин, тремолит, сульфиды, шунгит и другие минералы, что обуславливает значительное разнообразие рисунка этих пород и зачастую высокие декоративные свойства.

Минерально-сырьевая база доломитов Карелии представлена разведанными в Кондопожском районе Райгубско-Пялозерским, Пялозерским, Оленеостровским, Кузарандовским, Виданским месторождениями, и выявлено еще шесть проявлений [Минерально-сырьевая..., 2006]. Содержание главных компонентов в доломитизированных известняках и доломитах варьирует (мас. %): по месторождениям – CaO 18,8–30,36; MgO 10,88–35,0, по проявлениям – CaO 28,16–3,47; MgO 16,25–28,8.

Крупнейшее в Республике Карелия **Пялозерское месторождение доломитов** расположено в 7 км западнее пос. Спасская Губа в южной части Пялозерской синклинали, осложняющей западное крыло Онежского синклинория. Месторождение приурочено к верхней пачке верхнетуломозерской подсвиты толеитобазальт-кварцит-доломитовой формации верхнего ятулия, средняя мощность которой в пределах месторождения оценивается в 300–350 м. Продуктивная толща согласно залегает на доломитах, песчаниках, сланцах и других терригенных породах верхнетуломозерской подсвиты и перекрывается шунгитсодержащими сланцами, доломитовыми сланцами и алевrolитами заонежского горизонта. В геологическом строении месторождения также принимают участие пластовые интрузии габбродолеритовой формации верхнего людиковия. Породы смяты в пологие складки, их осевые поверхности субвертикальны, простирание субмеридиональное [Фадеев, 2001].

Доломиты месторождений Райгубско-Пялозерского, Пялозеро, Оленеостровского, Кузарандовского могут использоваться как облицовочный камень, а Виданского – для производства карбонатной извести. К полезным ископаемым Кузарандовского месторождения относятся: чистый доломит (лишен примеси терригенного кварца, горизонтальнослоистый, мощность 50–60 м), красноцветный доломит (конгломератовидный неслоистый, мощность 20 м). По химическому составу доломит удовлетворяет требованиям ГОСТ для производства строительной извести и ГОСТ для производства гидравлической извести. Доломиты участка Киви-Шурья (Пялозеро) по химическому составу отвечают требованиям к огнеупорному сырью 1 класса. Бескварцевые доломиты Пялозерского и Райгубско-Пялозерского объектов могут использоваться в производстве огнеупорных материалов для металлургии, строительной извести, флюсования железорудных окатышей. Окварцованные доломиты (Оленеостровское, Кузарандовское, Виданское месторождения и некоторые проявления) могут

найти применение в производстве строительной извести и для известкования почв [Мутыгллин, 1988; Фадеев, 2001].

Пикритовые базальты

Пикритовые базальты представляют собой породы с порфирированной структурой. Основная масса породы состоит из микролитов хлорита, плагиоклаза, пироксена, тремолита, лейкоксена. Вкрапленники (40–60 % от массы) представлены кристаллами авгита, измененного плагиоклаза, псевдоморфозами оливина. Оливин псевдоморфно замещается хлорит-серпентиновым агрегатом. Пироксены (авгит) нередко встречаются в зональных, свежих кристаллах, иногда с отчетливыми признаками оплавления. Плагиоклаз образует небольшие таблитчатые вкрапленники, нередко с интенсивным замещением хлоритом. По составу плагиоклаз вкрапленников и микролитов соответствует альбит-олигоклазу, реже олигоклаз-андезину.

В западном крыле Онежской структуры выделено шесть участков распространения пикритовых базальтов: Линдаваара, Укшозерский, Кончезерский, Тернаволоцкий, Ровкозерский, Линьгорский [Лебедева, Светов, 1986]. В пределах каждого из исследованных участков наблюдаются площади распространения массивных и миндалекаменных разностей. Миндалекаменные разности содержат значительное количество миндалин (3–5 мм) изометрической или удлиненной формы, заполненных хлоритом, карбонатом, кварцем. В массивных разностях миндалины редки и имеют меньшие размеры, в основной массе содержится больше тремолита, а среди вкрапленников снижается количество плагиоклаза.

В ИГ КарНЦ РАН проводились исследования широко распространенных в Кондопожском районе Республики Карелия высокомагнезиальных пикритовых базальтов суйсарской серии нижнего протерозоя в качестве сырья для получения минеральной ваты [Лебедева и др., 1979; Лебедева, Светов, 1986]. Показано, что миндалекаменные разности базальтов могут использоваться без добавок (однокомпонентный состав) для производства минеральной ваты высокого качества.

Щелочной асбест

Минерально-сырьевая база асбеста Республики Карелия представлена проявлениями апокарбонатного и апоультрамафитового типов. Проявления алоультрамафитового типа при-

урочены к серпентинизированным массивам гипербазитовой (антофиллит-асбест) и перидотит-габбровой (хризотил-асбест) формации лопия в Южно-Выгозерском зеленокаменном поясе и Хаутаваарской зеленокаменной структуре. Проявления апокарбонатного типа (тремолит-асбест, магнезиальный рибекит-асбест) локализованы в глинисто-карбонатных образованиях верхнего ятулия в Онежской палеопротерозойской структуре.

Наибольшие перспективы в настоящее время связываются с проявлениями магнезиального рибекит-асбеста Повенецкого рудного узла Онежско-Белозерской минерагенической зоны, расположенными в районе г. Медвежьегорска. Наиболее изученными являются проявления Краснополянского, Сапеницкого, Повенецкого, Пиндушского, Сандермох [Минерально-сырьевая..., 2006].

Проявления и пункты минерализации приурочены к нижней карбонатно-глинистой пачке верхней туломозерской подсветы, образующей брахиформные структуры северо-западной ориентировки [Белов, 1995]. Асбестизация связана с доломитизированными и частично брекчированными аргиллитами и алевролитами существенно хлорит-монтмориллонитового состава. В пределах продуктивной пачки зоны асбестизации имеют сложную конфигурацию, прослеживаясь по простиранию на расстояние до 1400 м при вертикальной мощности до 100 м и более. Основной формой асбестовой минерализации является волокнистый асбест, образующий прожилки, линзы, гнезда, которые крайне не выдержаны по размерам и достигают в длину первые десятки сантиметров при мощности от 0,5–1,0 до 5–10 см и более.

В результате лабораторных и технологических исследований в специализированных научных организациях бывшего СССР (ВНИИпроектасбест, Марийский филиал ВНИИБ, ВИМС, ВСЕГЕИ, ВНИИАТИ, комплекс «Энергия», ВНИИПИЭТ, НИИ промышленной и морской медицины и др.) была разработана предварительная схема промышленной технологической линии мокрого обогащения асбестовой руды, обеспечивающая извлечение из руды 85,1 % асбестового волокна [Минерально-сырьевая..., 2006].

Заключение

Республика Карелия обладает значительным минерально-сырьевым потенциалом магнезиальных промышленных минералов и горных пород, представленных тальком апокарбонатного и апоультрамафитового типов, щелочным асбестом, дунитами, оливинита-

ми, пироксенитами, пикритовыми базальтами, серпентинитами, кемиститами, тальковым камнем, доломитами.

Перспективы разработки ряда месторождений и проявлений связываются с возможным освоением комплексных объектов – Бураковским массивом, включающим хромитовые, благороднометалльные и никель-магнезиальные (кемиститы) руды, горно-индустриальное сырье (дуниты, оливиниты, серпентиниты, пироксениты); Тикшеозерским массивом, сопровождающимся апатит-кальцитовыми рудами, редкометалльной и редкоземельной минерализацией, горно-индустриальным сырьем (оливиниты, пироксениты); Западно-Светлоозерским массивом, включающим никелевые, апоультрамафитовые тальковые руды, тальковый камень и серпентиниты.

Широкое развитие на территории Карелии благоприятных структурно-вещественных комплексов способствует перспективам открытия новых месторождений и проявлений магнезиального сырья. Карельские серпентиниты являются характерными продуктами вторичного изменения ультрамафитов различной фациальной, формационной и геодинамической принадлежности и нередко – вмещающими породами для различных рудных и нерудных полезных ископаемых. Талькосодежащие породы, приуроченные к зонам метасоматической переработки серпентинитов, распространены в геологических разрезах мезо- и неогерейских зеленокаменных поясов, и во многих структурах локализованы в виде объектов – месторождений и проявлений – тальковых руд и талькового камня апоультрамафитового типа. Перспективными на тальковые руды и щелочной асбест апокарбонатного типа являются магнезиально-карбонатные породы метаморфизованных осадочных толщ палеопротерозоя, преимущественно распространенные на Прионежской и Приладожской площадях Южной Карелии.

Магнезиальное сырье находит применение в различных отраслях промышленности. Исследованиями сотрудников ИГ КарНЦ РАН показана перспективность магнезиальных пород Карелии для изготовления разнообразных строительных материалов, в том числе строительной облицовочной керамики, тепло- и звукоизоляционных материалов, пигментов, магнезиальных огнеупоров, адсорбентов, сварочных материалов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерально-го бюджета на выполнение государственно-

го задания КарНЦ РАН (тема НИР № АААА-А18-118020290175-2).

Авторы выражают признательность В. В. Щипцову за руководство работами и помощь в подготовке статьи.

Литература

Архангельский А. А. Отчет о геологическом изучении месторождения облицовочного камня (тальк-хлоритовые сланцы) «Каллиев-Муренваара». 2003. (КарТФГИ. N 736).

Астафьев Б. Ю., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Воинов А. С., Горбачевич Н. Р., Журавлев В. А., Ногина М. Ю., Парамонова М. С., Проскурин Г. Ю., Рыбалко А. Е., Семенова Л. Р., Суриков С. Н., Шкарубо С. И. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Лист Q-(35), 36. Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. 436 с.

Белов Ю. И. Отчет о результатах поисковых работ на щелочной амфибол-асбест в пределах северо-восточного обрамления Онежской структуры за 1984–1994 гг. (Медвежьегорский р-н РК). Петрозаводск: КГЭ, 1995. (КарТФГИ).

Высокомагнезиальное минеральное сырье / Под ред. В. П. Петрова. М.: Наука, 1991. 336 с.

Ганин В. А. Геологическое строение и полезные ископаемые Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления. Отчет о результатах ГГС масштаба 1:50000 и общих поисков никеля в пределах Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления. Петрозаводск, 1989. (КарТФГИ).

Геология Карелии. Л.: Наука, 1987. 232 с.

Горшко А. Ф. Новый геолого-промышленный тип месторождений комплексного никель-магнезиального сырья в ультрамафитах Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 24–35.

Заверткин А. С., Фролов П. В., Ильина В. П. Разработка технологии приготовления футеровки теплоаккумуляторов из талькосодежащего сырья // Роль технологической минералогии в получении конечных продуктов передела минерального сырья: Сб. статей X Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск, 2016. С. 94–98.

Иванов А. А. Информационный отчет «Геологическое строение месторождения Турган-Койван-Алуста». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. (КарТФГИ).

Ильина В. П., Попова Т. В., Фролов П. В. Высокомагнезиальное сырье Карелии и перспективы его использования // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 190–196.

Ильина В. П. Керамический теплоизоляционный материал на основе серпентинита // Стекло и керамика. 2013. № 8. С. 24–27.

Ильина В. П., Попова Т. В., Фролов П. В. Получение керамических материалов на основе нетрадиционного высокомагнезиального сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 11–12. С. 40–46.

Ильина В. П., Фролов П. В. Ультраосновные породы Аганозерского месторождения хромовых руд (Южная Карелия) как нетрадиционное магнийсиликатное сырье для производства новых керамических материалов // Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья: Сб. статей XII Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. С. 78–84. doi: 10.17076/tm13_11

Ильина В. П., Фролов П. В., Щипцов В. В. Сырьевая смесь для изготовления пористого теплоизоляционного материала. Патент РФ № 2497774. 2013.

Иностранцев А. А. О горшечном камне Повенецкого уезда Олонецкой губернии // Труды СПб общества естествоиспытателей. 1875. Т. 6. С. 14–15.

Калинников В. Т., Гришин Н. Н., Белогурова О. А., Иванов В. А. Магнезиально-силикатные огнеупоры на основе вмещающих пород Сопчеозерского месторождения хромитов // Фундаментальные проблемы комплексного использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов: Матер. междунар. науч. конф. Апатиты, 2003. С. 100–102.

Каменева Е. Е., Лебедева Г. А., Озерова Г. П., Скамницкая Л. С., Будыкина Н. П. Перспективы использования минерального сырья Карелии для производства плавящихся фосфорно-магниевого удобрений // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 163–170.

Каменева Е. Е., Лебедева Г. А., Соколов В. И., Фролов П. В. Исследование вещественного состава и технологических свойств серпентинитов Карелии // Современные методы минералого-геохимических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения: Материалы годичного собрания РМО. СПб., 2006. С. 22–24.

Климовская Е. Е., Иванов А. А. Минералого-петрографические особенности метакматитов Костомукшской зеленокаменной структуры (Карелия) // Литосфера. 2018. Т. 18, № 6. С. 870–891. doi: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-870-891

Коматииты и высокомагнезиальные вулканы раннего докембрия Балтийского щита. Л.: Наука, 1988. 192 с.

Кулешевич Л. В. Метаморфизм и рудоносность архейских зеленокаменных поясов юго-восточной окраины Балтийского щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1992. 267 с.

Куликова В. В., Фурман В. Н., Бычков А. Ю., Бобылева С. Н., Бондарева Т. В. Петрохимические особенности тальк-карбонатных пород Западно-Светлоозерской залежи // Опер.-информ. матер. Института геологии КарНЦ РАН. Петрозаводск, 1994. С. 59–63.

Лавров М. М. Гипербазиты и расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии докембрия Северной Карелии. Л.: Наука, 1979. 136 с.

Лавров М. М., Гарбар Д. И., Богачев А. И., Чечель Э. К., Михайлюк Е. М. Бураковский перидотит-габбро-норитовый массив // Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л.: Наука, 1976. С. 79–89.

Лавров М. М., Голубев А. И., Трофимов Н. Н. Геохимия и рудоносность Бураковской расслоенной ин-

трузии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 75–92.

Лебедева Г. А., Озерова Г. П., Калинин Ю. К. Классификация петругического сырья. Л.: Наука, 1979. 120 с.

Лебедева Г. А., Попова Т. В., Ильина В. П., Щипцов В. В. Шихта для получения кордиеритовой керамики. Патент РФ № 2458886. 2012.

Лебедева Г. А., Светов А. П. Пикритовые базальты – перспективный вид сырья для производства минеральной ваты // Комплексное и рациональное использование минерального сырья Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1986. С. 50–62.

Максимов А. В., Богданов Ю. Б., Воинова О. А., Косовая О. Л., Бахтеев А. Р., Евдокимова И. О., Горбачевич Н. Р., Ногина М. Ю., Никонова А. С., Суриков С. Н., Чуйко М. А., Шишлянников А. Н., Астафьев Б. Ю., Воинов А. С., Богачев В. А., Яновский А. С., Амонтов А. В., Андросов Е. А., Иванова Н. О., Сулова С. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Лист Р-(35), 36. Петрозаводск. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. 400 с.

Металлогения Карелии / Под ред. С. И. Рыбакова и А. И. Голубева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 340 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 356 с.

Михайлов В. П., Голованов Ю. Б., Федюк З. Н. Тальковые породы // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. С. 104–113.

Мутыгуллин Р. Х. Отчет о результатах поисков флюсовых известняков и доломитов в Заонежье и северо-западном Прионежье на Мунозерском и Пялозерском участках, проведенных в Медвежьегорском и Кондопожском районах КАССР в 1985–1988 гг. (Мунозерский объект). 1988. (КарТФГИ).

Романович И. Ф. Месторождения талька СССР. М.: Недра, 1973. 224 с.

Рыбаков С. И., Голубев А. И., Слюсарев В. Д., Степанов В. С., Лавров М. М., Трофимов Н. Н. Протерозойский рифтогенез и его роль в формировании Беломорской подвижной зоны // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 2. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 4–11.

Серпентинит в защите ядерных реакторов / Под ред. Ю. А. Егорова. М.: Атомиздат, 1973. 240 с.

Соколов В. И. Талько-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использования. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1995. 128 с.

Суйсарский пикрит-базальтовый комплекс палеопротерозоя Карелии (опорный разрез и петрология) / Ред. В. С. Куликов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 96 с.

Фадеев Г. В. Отчет о результатах оценочных работ на Пялозерском месторождении доломитов (сырье для производства магнезиального вяжущего) в Кондопожском районе РК в 1992–2001 гг. 2001. (КарТФГИ).

Фролов П. В. Тальк Карелии. Размещение проявлений, некоторые особенности геологии и минералогии залежей промышленных типов руд // Геолого-технологические исследования промышленных минералов Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 38–51.

Фролов П. В., Кевлич В. И., Ильина В. П., Попова Т. В., Сибелев О. С., Савицкий А. И., Орлов И. В. Минералого-технологические исследования высокомагнезиального сырья Аганозерского комплексного объекта // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 16. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 102–108.

Фролов П. В., Лебедева Г. А., Ильина В. П., Попова Т. В., Соколов В. И. Геологическая и минералогическая предварительная оценка различных формационных типов серпентинитов Карелии // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 147–158.

Фролов П. В., Фурман В. Н. Светлоозерское проявление руд железистого талька – эталонный объект комплексных месторождений зеленокаменных поясов Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 6. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 58–66.

Фурман В. Н. Отчет о результатах поисков тальковых руд и тальк-хлоритового камня в Республике Карелия в 1990–1994 гг. Петрозаводск: КГЭ, 1995. (КарТФГИ).

Чистяков А. В. Петрология крупнейшего в Европе раннепалеопротерозойского Бураковского расслоенного плутона основных и ультраосновных пород (Южная Карелия): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2004.

Чистяков А. В., Шарков Е. В. Петрология раннепалеопротерозойского Бураковского комплекса (Южная Карелия) // Петрология. 2008. Т. 16, № 1. С. 66–91.

Шарков Е. В., Чистяков А. В., Богина М. М., Богатиков О. А., Щипцов В. В., Беляцкий Б. В., Фролов П. В. Ультрамафит-щелочно-карбонатитовые комплексы как результат двухстадийного плавления мантийного плюма (на примере среднепалеопротерозойского Тикшеозерского интрузива, Северная

Карелия, Россия) // ДАН. 2019. Т. 486. С. 460–465. doi: 10.31857/S0869-56524864460-465

Шеков В. А., Мясникова О. В., Иванов А. А. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на месторождении талькового камня «Озерки» (облицовочный камень), проведенных на территории административного подчинения города Костомукша Республики Карелия в 2005–2008 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. (КарТФГИ).

Щипцов В. В. Магнезиальное сырье: история, мировой потенциал и ресурсы Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 45–61.

Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Скамницкая Л. С., Щипцова Н. И. Геолого-технологическая и экономическая оценка ресурсного потенциала карбонатитов Тикшеозерского массива (формация ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 159–170.

Щипцов В. В., Ильина В. П., Попова Т. В., Фролов П. В. Высокомагнезиальные промышленные минералы и горные породы Карелии в потенциальном производстве огнеупоров и керамических материалов различного назначения // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 4–5. С. 40–46.

Corfu F., Bayanova T. B., Shchiptsov V. V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tiksheozero carbonatite: expression of 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia // Cent. Eur. J. Geosci. 2011. Vol. 3, iss. 3. P. 302–308. doi: 10.2478/s13533-011-0029-z

Ilyina V. P., Frolov P. V., Klimovskaya E. E., Tkacheva S. G., Shekov V. A. Karelia's talc-bearing rocks, their properties and possible application (exemplified by the Kallievo-Murennaavaara deposit) // SGEM2017: Conf. proceed. Sofia, Bulgaria, 2017. Vol. 17, iss. 13. P. 479–486. doi: 10.5593/SGEM2017/13/S03.061

Shchiptsov V. V. High-magnesian raw materials: mineral products of the Karelia-Kola region (Russia) // SGEM2015: Conf. proceed. Sofia, Bulgaria, 2015. Book 1, vol. 1. P. 223–230.

Поступила в редакцию 28.05.2020

References

Arkhangel'skii A. A. Otchet o geologicheskom izuchении mestorozhdeniya oblitsovochnogo kamnya (tal'k-khloritovye slantsy) "Kallievo-Murenvaara" [Report on the geological study of the Kallievo-Murenvaara facing stone deposit (talc-chlorite schists)]. 2003. (KarTFGI. N 736).

Astaf'ev B. Yu., Bogdanov Yu. B., Voinova O. A., Voinov A. S., Gorbatshevich N. R., Zhuravlev V. A., Nогina M. Yu., Paramonova M. S., Proskurin G. Yu., Rybalko A. E., Semёnova L. R., Surikov S. N., Shkarubo S. I. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Ser. Baltiiskaya. List Q-(35), 36. Apatity. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1 000 000 (third generation). Series

Baltic. Sheet Q-(35), 36. Apatity. The explanatory letter]. St. Petersburg: VSEGEI, 2012. 436 p.

Belov Yu. I. Otchet o rezul'tatakh poiskovykh rabot na shchelochnoi amfibol-asbest v predelakh severo-vostochnogo obramleniya Onezhskoi struktury za 1984–1994 gg. (Medvezh'egorskii r-n RK) [Report on the results of prospecting work on alkaline amphibole asbestos within the northeastern frame of the Onega structure for 1984–1994 (Medvezhyegorsk District of the RK)]. Petrozavodsk: KGE, 1995. (KarTFGI).

Chistyakov A. V. Petrologiya krupneishego v Evrope rannepaleoproterozoiskogo Burakovskogo rassloennogo plutona osnovnykh i ul'traosnovnykh porod (Yuzhnaya Kareliya) [Petrology of the Europe's largest Early Paleoproterozoic Burakovsky stratified pluton of basic

and ultrabasic rocks (South Karelia): Summary of PhD (Cand. of Geol.-Min.) thesis. Moscow, 2004.

Chistyakov A. V., Sharkov E. V. Petrologiya ranne-paleoproterozoiskogo Burakovskogo kompleksa (Yuzhnaya Kareliya) [Petrology of the Early Paleoproterozoic Burakovsky complex, South Karelia]. *Petrologiya* [Petrology]. 2008. Vol. 16, no. 1. P. 66–91.

Fadeev G. V. Otchet o rezul'tatakh otsenochnykh rabot na Pyalozerskom mestorozhdenii dolomitov (syr'e dlya proizvodstva magnezial'nogo vyazhushchego) v Kondopozhskom raione RK v 1992–2001 gg. [Report on the results of evaluation at the Pyalozersky dolomite deposit (raw materials for the production of magnesium binder) in the Kondopoga District of the RK in 1992–2001]. 2001. (KarTFGI).

Frolov P. V., Furman V. N. Svetlozerskoe proyavlenie rud zhelezistogo tal'ka – etalonnii ob'ekt kompleksnykh mestorozhdenii zelenokamennykh poyasov Karelii [The Svetlozersky occurrence of ferruginous talc ores is a reference object for complex deposits of greenstone belts of Karelia]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 6. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 58–66.

Frolov P. V., Kevlich V. I., Ilyina V. P., Popova T. V., Sibelev O. S., Savitskii A. I., Orlov I. V. Mineralogo-tehnologicheskoe issledovaniya vysokomagnezial'nogo syr'ya Aganozerskogo kompleksnogo ob'ekta [Mineralogical and technological study of high-Mg raw material of the Aganozero complex object]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 16. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 102–108.

Frolov P. V., Lebedeva G. A., Ilyina V. P., Popova T. V., Sokolov V. I. Geologicheskaya i mineralogo-tehnologicheskaya predvaritel'naya otsenka razlichnykh formatsionnykh tipov serpentinitov Karelii [Geological, mineralogical, and technological preliminary assessment of various formation types of Karelian serpentinites]. *Mineralogo-tekhno. otsenka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh i probl. raskrytiya mineralov* [Mineralogical and technol. assessment of minerals deposits and issues of minerals release]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 147–158.

Frolov P. V. Tal'k Karelii. Razmeshchenie proyavlenii, nekotorye osobennosti geologii i mineragenii zalezhei promyshlennykh tipov rud [Karelian talc. Occurrences location, some geological features and minerageny of industrial types of ores deposits]. *Geologo-tekhno. issled. industrial'nykh mineralov Fennoskandii* [Geological and technol. study of industrial minerals of Fennoscandia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 38–51.

Furman V. N. Otchet o rezul'tatakh poiskov tal'kovykh rud i tal'k-khloritovogo kamnya v Respublike Kareliya v 1990–1994 gg. [Report on the results of prospecting for talc ores and talc-chlorite stone in the Republic of Karelia in 1990–1994]. Petrozavodsk: KGE, 1995. (KarTFGI).

Ganin V. A. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Burakovsko-Aganozerskogo massiva i ego obramleniya. Otchet o rezul'tatakh GGS masshtaba 1:50 000 i obshchikh poiskov nikelya v predelakh Burakovsko-Aganozerskogo massiva i ego obramleniya [Geological structure and mineral resources of the Burakovsko-Aganozersky massif and its surroundings. Report on the results of the GGS of the scale 1:50 000

and general prospecting for nickel within the Burakovsko-Aganozersky massif and its surroundings]. Petrozavodsk, 1989. (KarTFGI).

Geologiya Karelii [Geology of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1987. 232 p.

Goroshko A. F. Novyi geologo-promyshlennyi tip mestorozhdenii kompleksnogo nikel'-magnezial'nogo syr'ya v ul'tramafitakh Karelii [New geological and industrial deposits type of complex nickel-magnesian raw materials in ultramafic rocks of Karelia]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 1. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. P. 24–35.

Ilyina V. P., Frolov P. V. Ul'traosnovnye porody Aganozerskogo mestorozhdeniya khromovykh rud (Yuzhnaya Kareliya) kak netraditsionnoe magniisilikatnoe syr'e dlya proizvodstva novykh keramicheskikh materialov [Ultrabasic rocks of the Aganozersky chromium ore deposit as non-traditional magnesium silicate raw materials for the production of new ceramic materials]. *Mineralogo-tekhno. otsenka novykh vidov mineral'nogo syr'ya*: Sb. statei XII Ros. seminaro po tekhnol. mineralogii [Mineralogical and technol. Assessment of new types of mineral raw materials: Proceed. XII Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2019. P. 78–84. doi: 10.17076/tm13_11

Ilyina V. P. Keramicheskii teploizolyatsionnyi material na osnove serpentinita [Serpentinite ceramic thermal insulation material]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics]. 2013. No. 8. P. 24–27.

Ilyina V. P., Popova T. V., Frolov P. V. Poluchenie keramicheskikh materialov na osnove netraditsionnogo vysokomagnezial'nogo syr'ya [Obtaining of ceramic materials based on non-traditional high-magnesian raw materials]. *Ogneupory i tekhn. keramika* [Refractories and Tech. Ceramics]. 2014. No. 11–12. P. 40–46.

Ilyina V. P., Popova T. V., Frolov P. V. Vysokomagnezial'noe syr'e Karelii i perspektivy ego ispol'zovaniya [High-magnesian raw material of Karelia and prospects for its use]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 14. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 190–196.

Ilyina V. P., Frolov P. V., Shchiptsov V. V. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya poristogo teploizolyatsionnogo materiala [Raw mixture for the production of a porous heat-insulating material]. Patent RF No. RU2497774C1. 2013.

Inostrantsev A. A. O gorshechnom kamne Povenetskogo uezda Olonetskoi gubernii [About the potted stone of the Olonetsky province]. *Trudy SPb obshchestva estestvoispytatelei* [Proceed. St. Petersburg Society of Naturalists]. 1875. Vol. 6. P. 14–15.

Ivanov A. A. Informatsionnyi otchet "Geologicheskoe stroenie mestorozhdeniya Turgan-Koivan-Allusta" [Informational report "Geological structure of Turgan-Koivan-Allusta deposit"]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. (KarTFGI).

Kalinnikov V. T., Grishin N. N., Belogurova O. A., Ivanov V. A. Magnezial'no-silikatnye ogneupory na osnove vmeshchayushchikh porod Sopcheozerskogo mestorozhdeniya khromitov [Magnesia-silicate refractories based on the host rocks of the Sopcheozersky chromite deposit]. *Fund. probl. kompleksnogo ispol'zovaniya prirod. i tekhnogennogo syr'ya Barentseva reg. v tekhn.*

nol. stroitel'nykh mat.: Mat. mezhdunar. nauch. konf. [Fund. probl. of the integrated use of natural and man-made raw materials of the Barents region in the technol. of building mat.: Proceed. int. sci. conf.]. Apatity, 2003. P. 100–102.

Kameneva E. E., Lebedeva G. A., Ozerova G. P., Skamnitskaya L. S., Budykina N. P. Perspektivy ispol'zovaniya mineral'nogo syr'ya Karelii dlya proizvodstva plavlennykh fosforno-magnievyykh udobrenii [Perspectives for the use of mineral raw materials of Karelia for the production of fused phosphorus-magnesium fertilizers]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 7. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. P. 163–170.

Kameneva E. E., Lebedeva G. A., Sokolov V. I., Frolov P. V. Issledovanie veshchestvennogo sostava i tekhnologicheskikh svoystv serpentinitov Karelii [Study of the material composition and technological properties of serpentinite of Karelia]. *Sovremennyye metody mineralogo-geokhimicheskikh issledovaniy kak osnova vyavleniya novykh tipov rud i tekhnologii ikh kompleksnogo osvoeniya: Materialy godichnogo sobraniya RMO* [Modern methods of mineral. and geochem. research as a basis for identifying new types of ores and technologies for their integrated development: Proceed. annual meeting RMS]. St. Petersburg, 2006. P. 22–24.

Klimovskaya E. E., Ivanov A. A. Mineralogo-petrograficheskie osobennosti metakomatiitov Kostomukshskoi zelenokamennoi struktury (Kareliya) [Mineralogical and petrographic features of metakomatiites of the Kostomuksha greenstone structure (Karelia)]. *Litosfera* [Lithosphere]. 2018. Vol. 18, no. 6. P. 870–891. doi: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-870-891

Komatiity i vysokomagnezial'nye vulkanity rannego dokembriya Baltiiskogo shchita [Komatiites and high-magnesium volcanites in the early Precambrian of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1988. 192 p.

Kuleshevich L. V. Metamorfizm i rudonosnost' arkheiskikh zelenokamennykh poyasov yugo-vostochnoi okrainy Baltiiskogo shchita [Metamorphism and ore bearing of the Archean greenstone belts of the southeastern margin of the Baltic Shield]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1992. 267 p.

Kulikova V. V., Furman V. N., Bychkov A. Yu., Bobyleva S. N., Bondareva T. V. Petrokhimicheskie osobennosti tal'k-karbonatnykh porod Zapadno-Svetlozerskoi zalezhi. *Oper.-inform. mater. IG KarNTs RAN* [Petrochemical features of talc-carbonate rocks of the West-Svetlozersky deposit. Oper.-inf. mat. IG KarRC RAS]. Petrozavodsk, 1994. P. 59–63.

Lavrov M. M., Garbar D. I., Bogachev A. I., Chel' E. K., Mikhailuk E. M. Burakovskii peridotit-gabbro-noritovyi massiv [Burakovsky gabbro-norite massif]. *Intruzivnye bazit-ul'trabazitovye komplekсы dokembriya Karelii* [Intrusive basic-ultrabasite complexes of the Precambrian Karelia]. Leningrad: Nauka, 1976. P. 79–89.

Lavrov M. M. Giperbazity i rassloennyye peridotit-gabbro-noritovyye intruzii dokembriya Severnoi Karelii [Hyperbasites and layered peridotite-gabbro-norite intrusions of the Precambrian northern Karelia]. Leningrad: Nauka, 1979. 136 p.

Lavrov M. M., Golubev A. I., Trofimov N. N. Geokhimiya i rudonosnost' Burakovskoi rassloennoi intru-

zii [Geochemistry and ore content of the Burakovsky layered intrusion]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 7. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. P. 75–92.

Lebedeva G. A., Ozerova G. P., Kalinin Yu. K. Klassifikatsiya petrurgicheskogo syr'ya [Classification of petrurgic raw materials]. Leningrad: Nauka, 1979. 120 p.

Lebedeva G. A., Popova T. V., Ilyina V. P., Shchiptsov V. V. Shikhta dlya polucheniya kordieritovoi keramiki [Furnace charge for cordierite ceramics production]. Patent RF No. RU2458886C1. 2012.

Lebedeva G. A., Svetov A. P. Pikritovyye bazal'ty – perspektivnyy vid syr'ya dlya proizvodstva mineral'noi vaty [Picritic basalts – perspective type of raw material for the production of mineral wool]. *Kompleksnoe i ratsional'noe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya Karelii* [Comprehensive and rational use of mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1986. P. 50–62.

Maksimov A. V., Bogdanov Yu. B., Voinova O. A., Kossovaya O. L., Bakhteev A. R., Evdokimova I. O., Gorbachevich N. R., Nogina M. Yu., Nikonova A. S., Surikov S. N., Chuiko M. A., Shishlyannikov A. N., Astaf'ev B. Yu., Voinov A. S., Bogachev V. A., Yanovskii A. S., Amontov A. V., Androsov E. A., Ivanova N. O., Suslova S. V. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Mashtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Ser. Baltiiskaya. List P-(35), 36. Petrozavodsk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). Series Baltic. Sheet P-(35), 36 – Petrozavodsk. The explanatory letter]. St. Petersburg: VSEGEI, 2015. 400 p.

Metallogeniya Karelii [Metallogeny of Karelia]. Eds. S. I. Rybakov, A. I. Golubev. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 340 p.

Mikhailov V. P., Golovanov Yu. B., Fedyuk Z. N. Tal'kovyye porody [Talc rocks]. *Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya* [Raw material base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. B. 2. P. 104–113.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya. Kn. 2. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye. Podzemnyye vody i lechebnyye gryazi [Mineral resources base of the Republic of Karelia. Book 2. Non-metallic minerals. Groundwater and healing mud]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. 356 p.

Mutygullin R. Kh. Otchet o rezul'tatakh poiskov flyusovykh izvestnyakov i dolomitov v Zaonezh'e i severo-zapadnom Prionezh'e na Munozerskom i Pyalozerskom uchastkakh, provedennykh v Medvezh'egorskom i Kondopozhskom raionakh KASSR v 1985–1988 gg. (Munozerskii ob'ekt) [Report on the results of fluxing limestones and dolomites prospecting of Zaonezhye and northwestern Prionezhie in the Munozersky and Pyalozersky areas, conducted in the Medvezhyegorsky and Kondopoga regions of the KASSR in 1985–1988. (Munozero object)]. 1988. (KarTFGI).

Romanovich I. F. Mestorozhdeniya tal'ka SSSR [Talc deposits of the USSR]. Moscow: Nedra, 1973. 224 p.

Rybakov S. I., Golubev A. I., Slyusarev V. D., Stepanov V. S., Lavrov M. M., Trofimov N. N. Proterozoiskii riftoenez i ego rol' v formirovaniy Belomorskoi podvzhnoi

zony [Proterozoic riftogenesis and its role in the formation of the White Sea mobile zone]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 2. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. P. 4–11.

Serpentinit v zashchite yadernykh reaktorov [Serpentinites in nuclear reactor protection]. Ed. Yu. A. Egorova. Moscow: Atomizdat, 1973. 240 p.

Sharkov E. V., Chistyakov A. V., Bogina M. M., Bogatikov O. A., Shchiptsov V. V., Belyatskii B. V., Frolov P. V. Ul'tramafit-shchelochno-karbonatitovye komplekсы kak rezul'tat dvukhstadiinogo plavleniya mantiinogo plyuma (na primere srednepaleoproterozoiskogo Tiksheozerskogo intruziva, Severnaya Kareliya, Rossiya) [Ultramafic-alkaline-carbonatite complexes as a result of two-stage melting of mantle plume: evidence from the Mid-Paleoproterozoic Tiksheozero intrusion, Northern Karelia, Russia]. *DAN [Proceed. RAS]*. 2019. Vol. 486. P. 460–465. doi: 10.31857/S0869-56524864460-465

Shchiptsov V. V. Magnezial'noe syr'e: istoriya, mirovoi potentsial i resursy Karelii [Magnesian raw materials: history, world potential, and resources of Karelia]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 15. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. P. 45–61.

Shchiptsov V. V., Bubnova T. P., Garanzha A. V., Skamnitskaya L. S., Shchiptsova N. I. Geologo-tehnologicheskaya i ekonomicheskaya otsenka resursnogo potentsiala karbonatitov Tikshezerskogo massiva (formatsiya ul'traosnovnykh-shchelochnykh porod i karbonatitov) [Geological, technological, and economic assessment of the resource potential of carbonatites of the Tikshezersky massif (formation of ultrabasic-alkaline rocks and carbonatites)]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 10. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 159–170.

Shchiptsov V. V., Ilyina V. P., Popova T. V., Frolov P. V. Vysokomagnezial'nye promyshlennye mineraly i gornye porody Karelii v potentsial'nom proizvodstve ogneuporov i keramicheskikh materialov razlichnogo naznacheniya [High magnesian industrial minerals and rocks of Karelia in the potential production of refractories and ceramic materials for various purposes]. *Ogneupory i tekhn. keramika* [Refractories and Tech. Ceramics]. 2013. No. 4–5. P. 40–46.

Shekov V. A., Myasnikova O. V., Ivanov A. A. Otchet o rezul'tatakh poiskovo-otsenochnykh rabot na mestorozhdenii tal'kovogo kamnya "Ozerki" (oblitsovochnyi kamen'), provedennykh na territorii administrativnogo

podchineniya goroda Kostomuksha Respubliki Kareliya v 2005–2008 gg. [Report on the results of prospecting and evaluation work on the Ozerki soapstone deposit (facing stone) carried out in the territory of the administrative subordination of the city of Kostomuksha of the Republic of Karelia in 2005–2008]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. (KarTFGI).

Sokolov V. I. Tal'ko-khloritovye slantsy Karelii i puti ikh kompleksnogo ispol'zovaniya [Talc-chlorite schists of Karelia and ways of their complex use]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1995. 128 p.

Suisarskii pikrit-bazal'tovyi kompleks paleoproterozoya Karelii (opornyi razrez i petrologiya) [Suisair picrite-basalt complex of the Paleoproterozoic in Karelia (reference section and petrology)]. Ed. V. S. Kulikov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 96 p.

Vysokomagnezial'noe mineral'noe syr'e [High magnesium mineral raw materials]. Ed. V. P. Petrov. Moscow: Nauka, 1991. 336 p.

Zavertkin A. S., Frolov P. V., Ilyina V. P. Razrabotka tekhnologii prigotovleniya futerovki teploakkumulyatorov iz tal'ksoderzhashchego syr'ya [Development of technology for the preparation of lining of heat accumulators from talc-containing raw materials]. *Rol' tekhnol. mineralogii v poluchenii konechnykh produktov peredela mineral'nogo syr'ya*: Sb. statei X Ros. seminar po tekhnol. mineralogii [The role of technol. mineralogy in obtaining the final products of mineral raw materials processing: Proceed. X Russ. seminar on technol. mineralogy]. Petrozavodsk, 2016. P. 94–98.

Corfu F., Bayanova T. B., Shchiptsov V. V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tiksheozero carbonatite: expression of 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia. *Cent. Eur. J. Geosci.* 2011. Vol. 3, iss. 3. P. 302–308. doi: 10.2478/s13533-011-0029-z

Ilyina V. P., Frolov P. V., Klimovskaya E. E., Tkacheva S. G., Shekov V. A. Karelia's talc-bearing rocks, their properties and possible application (exemplified by the Kallievo-Murennanvaara deposit). *SGEM2017: Conf. proceed.* Sofia, Bulgaria, 2017. Vol. 17, iss. 13. P. 479–486. doi: 10.5593/SGEM2017/13/S03.061

Shchiptsov V. V. High-magnesian raw materials: mineral products of the Karelia-Kola region (Russia). *SGEM2015: Conf. proceed.* Sofia, Bulgaria, 2015. Book 1, vol. 1. P. 223–230.

Received May 28, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Климовская Екатерина Евгеньевна

научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: klimeee@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Klimovskaya, Ekaterina

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

Фролов Петр Владимирович

научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: pv.frolov@yandex.ru
тел: +79218004150

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: ilyina@krc.karelia.ru

Иванов Андрей Алексеевич

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

Frolov, Pyotr

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: pv.frolov@yandex.ru
tel.: +79218004150

Ilyina, Vera

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

Ivanov, Andrey

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