

Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр
Российской академии наук»

ТРУДЫ

КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

№ 6, 2020

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ КАРЕЛИИ
И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Петрозаводск
2020

Главный редактор
А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); Э. В. ИВАНТЕР, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; Н. В. ЛУКИНА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХЁЛЬТТЯ, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Редакционная коллегия тематического выпуска
«Промышленные минералы Карелии и сопредельных территорий»

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; И. Н. БУРЦЕВ, к. г.-м. н.; Ю. Л. ВОЙТЕХОВСКИЙ, д. г.-м. н., проф.; В. В. КОВАЛЕВСКИЙ, д. г.-м. н.; А. В. ПЕРВУНИНА, к. г.-м. н.; Б. И. ПИРОГОВ, д. г.-м. н., проф.; Е. Н. СВЕТОВА (ответственный секретарь), к. г.-м. н.; С. А. СВЕТОВ (ответственный редактор), д. г.-м. н.; В. А. ШЕКОВ, к. т. н.; В. В. ЩИПЦОВ (ответственный редактор), д. г.-м. н., проф.

Издается с января 2009 г.

Адрес редакции: 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
Тел. (8142)762018; факс (8142)769600
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

TRANSACTIONS

**of the KARELIAN RESEARCH CENTRE
of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES**

No. 6, 2020

**INDUSTRIAL MINERALS OF KARELIA
AND ADJACENT REGIONS**

Petrozavodsk
2020

Editor-in-Chief

A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); N. V. LUKINA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Editorial Board of the thematic issue

«Industrial minerals of Karelia and adjacent regions»

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; I. N. BURTSEV, PhD (Geol.-Miner.); Yu. L. VOITEKHOVSKII, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; V. V. KOVALEVSKII, DSc (Geol.-Miner.); A. V. PERVUNINA, PhD (Geol.-Miner.); B. I. PIROGOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; E. N. SVETOVA (Executive Secretary), PhD (Geol.-Miner.); S. A. SVETOV (Editor-in-Charge), DSc (Geol.-Miner.); V. A. SHEKOV, PhD (Tech.); V. V. SHCHIPTSOV (Editor-in-Charge), DSc (Geol.-Miner.), Prof.

Published since January 2009

Monthly

Editorial Office address: 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Tel. (8142)762018; fax (8142)769600

E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Full-text electronic version: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

© Karelian Research Centre, Russian Academy
of Sciences, 2020

© Institute of Geology of KarRC RAS, 2020

Предисловие

Уважаемые коллеги!

В этом году тематический выпуск журнала «Труды Карельского научного центра РАН» посвящается 100-летию образования Республики Карелия, региона, который издавна славится не только своей природной красотой, но и полезными ископаемыми.

В «докембрийских недрах» Карелии с давних времен добывались важные полезные ископаемые и минералы, такие как железные болотные руды, медь, гранат, мусковит. В многовековую историю развития региона вошли промышленные разработки, связанные с добычей горных пород, которые сегодня определяются как промышленные минералы. В период XVIII–XIX столетий для строительства архитектурных ансамблей Санкт-Петербурга и прочих российских городов добывались мраморные, гранитные, габбро-диабазовые блоки. В это время широкой известностью начинает пользоваться шокшинский кварцит, рускеальский и белогорский мрамор. В Заонежье, в районе поселка Шуньга закладывается первая штольня для добычи шунгита, перспективного высокоуглеродистого материала.

С 20-х годов прошлого столетия на севере республики интенсивно добывается мусковит и керамическое сырье. Долгое время в поселке Чупа существовал ГОК «Карелслюда» всесоюзного значения. Большим событием для региона стал запуск Чупинской помольно-обогащительной фабрики. В это же время в Карелии появляется целый ряд поселков горняков (Малиновая Варакка, Тэдино, Плотина и др.). Вторым центром горной промышленности в это время становится город Кондопога. Здесь были построены заводы каменного литья и минерального сырья, на которые поступала горная масса, добываемая на месторождениях Хавчозеро, Линнаваара, Люпикко. Также в Кондопоге разрабатывается Нигозерский карьер по добыче шунгитовых сланцев, активно работает Кондопожский камнеобрабатывающий завод.

Впоследствии в истории развития горного комплекса Карелии было еще много открытий и свершений – открыты железные руды Костомукшской структуры, ванадиевые руды Пудожгорского месторождения и прочие уникальные объекты.

В данный выпуск журнала включены научные статьи о промышленных минералах (апатите, алмазах, слюде, полевых шпатах, шунгитах, минеральном сырье строительного назначения и др.) Карелии и сопредельных северных территорий. Материалы, посвященные этой теме, будут также опубликованы в осеннем выпуске серии «Геология докембрия» нашего журнала.

Важно отметить, что на протяжении десятилетий ключевое место в исследованиях Института геологии КарНЦ РАН принадлежит изучению промышленных минералов. Первая научная сессия «Закономерности размещения полезных ископаемых на территории Карелии» была проведена в далеком 1962 году, на ней с яркими докладами о проектируемых центрах камнедобывающей промышленности Карелии и о новых видах сырья для электрокерамической и абразивной промышленности выступил профессор П. А. Борисов. С тех пор в Институте геологии регулярно стали проводиться научные конференции, симпозиумы, семинары по проблемам геологии, минералогии и технологии промышленных минералов, а сотрудники организации делились своими знаниями на многочисленных международных конференциях в Болгарии, Германии, Индии, Канаде, Норвегии, США, Финляндии, Франции, Чехии, Швеции. Библиография основных публикаций сотрудников института за период с 1959 г. по настоящее время приводится в самостоятельном разделе этого выпуска.

Основателем научного направления по исследованиям неметаллических полезных ископаемых региона являлся проф. П. А. Борисов. В последующие годы диапазон исследований значительно расширился под руководством Б. Я. Алексеева, Л. Л. Гродницкого, Ю. К. Калинина, В. В. Ковалевского, А. С. Пекки, А. В. Рылеева, В. А. Шекова, В. В. Щипцова. В разные годы в геологических и минералого-технологических исследованиях разнообразных промышленных минералов Карелии принимала участие целая плеяда ученых Института геологии КарНЦ РАН, среди которых, кроме вышеназванных, – А. В. Бархатов, Н. С. Бискэ, В. Я. Волочаев, Л. П. Галдобина, А. В. Гаранжа, Л. С. Голованова, М. И. Голод, В. И. Горлов, Л. А. Данилевская, Е. Ф. Дюккиев, А. А. Иванов, В. П. Ильина, А. С. Заверткин, И. Н. Карелина, В. И. Кевлич, В. А. Коншин, А. И. Крохин, Т. К. Кулмала, Г. А. Лебедева, З. Т. Митрофанова, А. Б. Наливкин, Г. П. Озерова, А. К. Полин, В. Г. Пудовкин, Г. П. Сафронова, Л. С. Скамницкая, В. А. Соколов, В. И. Соколов, Ю. И. Сацук, Г. П. Филинцев, М. М. Филиппов, Р. А. Хазов и др.

Идет время, меняются взгляды и подходы, в настоящее время ориентиром является принцип комплексной разработки месторождений, предусматривающий освоение месторождения в том

виде, в каком его создала природа, без отходов, вредных выбросов и с минимальным воздействием на экологию. В данном тренде ключевая роль принадлежит новым технологиям и инновациям.

*С. А. Светов, д. г.-м. н.,
директор Института геологии КарНЦ РАН*

Preface

Dear colleagues,

the thematic issue of the journal “Transactions of the Karelian Research Centre RAS” of June 2020 is published to celebrate the centennial anniversary of the Republic of Karelia, a region long known not only for its beautiful nature but also for its useful minerals.

Important minerals, such as bog iron ore, copper, garnet and muscovite, have been mined in Karelia’s Precambrian deposits since times immemorial. In the centuries-old history of the region, the mining of the rocks known today as industrial minerals has been of major importance. In the 18th-19th centuries, marble, granite and gabbro-diabase blocks were produced for the construction of architectural ensembles in St. Petersburg and other Russian cities. At that time, Shoksha quartzite and Ruskeala and Belogorsk marble became well-known far and wide. In the Trans-Onega area (Zaonezhye), the first adit for the extraction of shungite, a promising carbon-rich material, was launched near Shunga Village.

Muscovite and raw ceramic material have been actively mined in northern Karelia since the 1920s. Karel’slyuda Mining and Concentration Plant of pan-national significance had been operating for a long time in the Chupa township. The commissioning of the Chupa Milling and Dressing Plant was a great event for the region. At that time several mining towns, such as Malinovaya Varakka, Tedino, Plotina, etc., were founded in the region. Another mining centre of the time was the Town of Kondopoga, where a stone casting and a mineral material factories were built, receiving feedstock from the Havchozero, Linnavaara and Lyupikko deposits. Also, a shungite shale quarry at Nigozero and a stone-processing plant in Kondopoga were actively operating. There were many breathtaking discoveries in Karelia’s mining history, e. g. iron ore in the Kostomuksha area, vanadium ore at Pudozhgora and other unique deposits.

This issue consists of scientific papers on industrial minerals (apatite, diamond, mica, feldspar, shungite, minerals used in construction, etc.) from Karelia and adjacent northern areas. More materials on the subject will be published in the autumn issue of the journal “Transactions of KarRC RAS – Precambrian Geology Series”.

It is important to point out that the study of industrial minerals has been a major focus for the Institute of Geology KarRC RAS for decades. The first scientific session “Karelia’s useful minerals distribution pattern” was held as early as 1962. A brilliant presentation on stone production hubs to be founded in Karelia and new types of raw materials for the electroceramics and abrasives industries was made at the session by Prof. P. A. Borisov. Since then, scientific conferences, symposia and seminars on the geology, mineralogy and technology of industrial minerals have been held by the Institute of Geology. Institute’s staff members have shared their knowledge with fellow geologists at many international conferences held in Bulgaria, Germany, India, Canada, Norway, the USA, Finland, France, Czechia and Sweden. The main publications by the institute’s researchers since 1959 until present are listed in a special section of this issue.

The study of the region’s nonmetallic minerals as a scientific trend was started by Prof. P. A. Borisov. The scope of studies, headed by B. Y. Alexeyev, L. L. Grodnitsky, Y. K. Kalinin, V. V. Kovalevsky, A. S. Pekki, A. V. Ruleyev, V. A. Shekov and V. V. Shchiptsov, has been considerably broadened since then. The geological and mineralogo-technological studies of Karelia’s various industrial minerals have been conducted by many scientists from the Institute of Geology, both the ones listed above and A. V. Barkhatov, N. S. Biske, L. A. Danilevskaya, E. F. Dyukkiev, G. P. Filintsev, M. M. Filippov, L. P. Galdobina, A. V. Garanzha, M. I. Golod, L. S. Golovanova, V. I. Gorlov, V. P. Ilyina, A. A. Ivanov, I. N. Karelina, V. I. Kevlich, R. A. Khazov, V. A. Konshin, A. I. Krokhin, T. K. Kulmala, G. A. Lebedeva, Z. T. Mitrofanova, A. B. Nalivkin, G. P. Ozerova, A. K. Polin, V. G. Pudovkin, G. P. Safronova, L. S. Skamnitskaya, V. A. Sokolov, V. I. Sokolov, Y. I. Satsuk, V. Y. Volochaev, A. S. Zavertkin, and others.

Time goes by, points of view and approaches change. The main principle now is integrated mining of deposits as created by nature with no waste, no harmful emissions, and as little effect on the environment as possible. The key role in this trend should be played by new technologies and innovations.

*Dr. Sci. S. A. Svetov,
Director of the Institute of Geology KarRC RAS*

УДК 553.041 + 553.042

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

**В. В. Щипцов¹, И. Н. Бурцев², Д. В. Жиров³, А. В. Волошин³,
Д. О. Машин²**

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

² Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН», Сыктывкар, Россия

³ Геологический институт КНЦ РАН, ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Апатиты, Россия

Показано значение промышленных минералов севера европейской части России в минерально-сырьевой экономике страны с учетом того, что значительная часть территории относится к районам Арктической зоны. Приведен краткий обзор истории исследований и освоения минеральных ресурсов северных земель древнерусского государства от зарождения масштабного слюдяного промысла, солеварения, жемчуголовства до промышленной оценки и разработки месторождений мусковита, флогопита, вермикулита, полевошпатового сырья, бадделеита, становления гигантского комплекса апатит-нефелинового производства, добычи алмазов, соли, барита, шунгитов и других полезных ископаемых. Подчеркнуто, что строение континентальной части Европейского Севера определено длительной историей геологического развития от 3,5 млрд до современного периода. В геологическом отношении к составляющим отнесены фундамент Восточно-Европейской платформы (Фенноскандинавский щит), сложенный докембрийскими образованиями, полого погружающимися под осадочный чехол Русской плиты, сменяющейся Тимано-Печорской платформой с рифейским основанием, а далее на востоке располагается Тимано-Печорская платформа. Минерагения докембрийских и фанерозойских областей имеет контрастные черты формирования. Дан обзор по месторождениям и крупным проявлениям промышленных минералов севера европейской части России, имеющих различие в генезисе и возрасте, с приложением карты-схемы их размещения. Минерально-сырьевая база Российского Севера может быть расширена за счет поисков, оценки и промышленного освоения ряда новых объектов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: промышленные минералы; месторождение; докембрий; фанерозой; магматизм; осадочные породы; метаморфизм; запасы; ресурсы.

**V. V. Shchiptsov, I. N. Burtsev, D. V. Zhirov, A. V. Voloshin, D. O. Mashin.
INDUSTRIAL MINERALS OF NORTH EUROPEAN RUSSIA**

The importance of North European Russia's industrial minerals for the country's mineral raw materials economy is shown with regard for the fact that a large part of the territory is in the Arctic Zone. The history of the study and use of mineral resources in northern parts of the Old Russian state, from the start of large-scale mica and salt production and pearl harvesting to the industrial appraisal and mining of muscovite, phlogopite, vermiculite, feldspar and baddeleyite deposits, and the launching of the large-scale production of apatite-nepheline, diamond, salt, barite, shungite and other commercial minerals. It is stressed that the structure of continental North European Russia has been forming

through a long geological evolution from 3.5 Ga to the present day. Geologically, it is composed of the East European Platform basement (Fennoscandian Shield) consisting of Precambrian rocks subsiding gently under the sedimentary cover of the Russian Plate, the Timan-Pechora Platform with a Riphean basement, and the Timan-Pechora Platform lying farther eastwards. The mineral genesis of the Precambrian and the Phanerozoic provinces displays a contrasting pattern. The industrial mineral deposits and large-scale occurrences of North European Russia, differing in genesis and age, are reviewed and a sketch map of their distribution is supplemented. North Russia's mineral potential could be enlarged by the prospecting, appraisal and mining of some new localities.

Key words: industrial minerals; deposit; Precambrian; Phanerozoic; magmatism; sedimentary rocks; metamorphism; reserves; resources.

Введение

В мировой практике используется большая группа полезных ископаемых под названием «industrial minerals» (промышленные минералы). Под индустриальными минералами подразумевают все минеральное сырье, которое человек извлекает из недр, кроме энергетических видов сырья, металлов, воды и самоцветов, и может использовать в промышленности благодаря определенным физическим и химическим свойствам этого сырья [Boström, 1988; Щипцов, 2001]. Состояние активных балансовых запасов апатита, фосфоритов, барита, слюд, традиционного и нетрадиционного полевого шпата, кианита, кварца, известняков, каменностроительных материалов, каолиновых и тугоплавких глин, стекольных и формовочных песков, каменной соли и других создают реальную картину инвестиционной привлекательности промышленных минералов сырьевой базы севера европейской части России. Области применения этих промышленных минералов чрезвычайно широки. Они могут использоваться как в естественном, так и в переработанном виде. Крупнейшие осваиваемые месторождения промышленных минералов – основные поставщики минеральной продукции для различных производств: уникальные месторождения Хибинского массива (апатитовый и нефелиновый концентраты), Ковдорский щелочно-ультраосновной массив (апатитовый и бадделеитовый концентраты), алмазы Архангельской области, Зажогинский куст залежей высокоуглеродистых шунгитовых пород, Верхнепечорский район распространения каменных и калийных солей, лейкоксеновые руды Ярегского месторождения, баритовые руды Хойлинского месторождения, Белоручейское и Савинское месторождения высококальциевых известняков и др.

Минерально-сырьевая база Российского Севера может быть значительно расширена за счет поисков, оценки и промышленного освоения ряда новых, нетрадиционных или не ис-

пользуемых в регионе перспективных видов промышленных минералов.

К таким видам сырья относятся высокоглиноземистые, высокоуглеродистые метасланцы и фельдшпатолиты на Тимане, нетрадиционные виды полевошпатового и кварцевого сырья, природные битумы и битуминозные породы, химически чистые карбонатные породы (известняки, доломиты, мергели), глины различного минерального состава, маршаллиты, цеолитоносные породы, природная сода, глаукониты, высокодекоративные облицовочные камни и ряд других полезных ископаемых, техногенное сырье.

Результаты изучения осадочных, магматических и метаморфических комплексов севера европейской части России в связи с оценкой минерагении промышленных минералов изложены в отчетах и многочисленных публикациях, часть из которых используется в представленном обзоре.

История исследований промышленных минералов севера европейской части РФ

Заселение Севера неразрывно связано с историей освоения и использования природных ресурсов. Северные земли стали составной частью древнерусского государства, возникшего в IX веке. Первые русские мореплаватели появились в X–XII веках на побережье Белого и Баренцева морей, называвшихся Студеным морем. С этим периодом связано начало освоения минерально-сырьевых ресурсов северных регионов России, в частности, зарождение масштабного слюдяного промысла. В Поморье многие годы производили соль, называемую «морянской». «Солнечные» солеварни располагались в мелководных бухтах. С XV по XVIII в. по побережью Белого моря существовали десятки соляных варниц, в большинстве своем принадлежавших Соловецкому монастырю. До 50 % всей соли вываривалось в Неноксе, где крепость соляных растворов была значительно выше, чем в других местах. Расцвет соляного промысла в селе Се-

регово пришелся на конец XVII века. Добыча, как свидетельствуют летописи, увеличилась с 2178 тонн в 1674 году до 5078 тонн в 1698 году. Сереговский солеваренный промысел стал одним из крупнейших в Российской империи наряду с промыслом на озере Эльтон.

На многих реках жемчуголовы-промысловики, жители ближайших деревень, занимались добычей жемчуга. На Терском берегу Белого моря с XV века добывали аметист. Издавна крестьяне на Средней Печоре изготавливали точила и круги из битуминозных песчаников.

Знаменитые слова М. В. Ломоносова имеют полное отношение к истории недр Севера: «По многим доказательствам заключаю, что и в северных земных недрах пространно и богато царствует натура..., но искать оных сокровищ некому..., а металлы и минералы сами во двор не придут, – требуют глаз и рук к своему прииску».

В 1787 году Самуил Алопеус на берегах Ладожского озера встретил обломки «карандаша» – минерала графита. Для истории горного промысла наибольший интерес представляет проявление графита Кимамяки, расположенное в 13 км от города Сортавалы.

Строительство Мурманской железной дороги сыграло важную роль в возрождении освоения северных «подземных кладовых». Заявочные столбы, датированные 1916 годом, свидетельствуют об интересе к пегматитовым жилам, возникшем при строительстве железной дороги. В 1915 г. при Императорской Петербургской Академии наук создана постоянная Комиссия по изучению естественных производительных сил России (КЕПС). В 1919 г., в послереволюционный период, этой комиссией опубликована сводка по слюде [Гинзбург, 1919], в которой были показаны важнейшие места старой слюдодобычи в Керетско-Кандалакшском округе и даны рекомендации по возобновлению приисков.

Появление первых сведений о промышленных минералах в Печорском крае связано с работами комплексных экспедиций под руководством И. И. Лепехина (1771–1772 гг.), А. А. Кейзерлинга (1843 г.), П. И. Крузенштерна, Э. К. Гофмана (1847–1850 гг.), Е. С. Федорова (1887–1890 гг.), Ф. Н. Чернышева (1889–1890 гг.). В начале XX века в регионе начал работать А. А. Чернов. Президиум ВСНХ 4 марта 1920 г. учредил Северную научно-промысловую экспедицию, в состав которой вошли крупнейшие ученые А. П. Карпинский, А. Е. Ферсман, Р. С. Самойлович и другие.

Обратимся к истории России первых десятилетий прошлого века – это Первая мировая

война, революции, которые привели к разрухе и, как следствие, к необходимости восстановления народного хозяйства. Электрификация потребовала большое количество электротехнических материалов, среди которых одним из важнейших стала природная слюда (мусковит, флогопит), прекрасный диэлектрик в электрическом поле. В мае 1920 г. президент Академии наук академик А. П. Карпинский, руководитель Комиссии сырья КЕПСА А. Е. Ферсман и ст. геолог Геолкома А. П. Герасимов совершают поездку в Карелию и на Кольский полуостров. Это был первый шаг к изучению потенциала пегматитов Беломорья как источника кварц-полевошпатового сырья, мусковита и других полезных ископаемых вблизи Мурманской железной дороги.

Известный геолог и этнограф М. Б. Едемский участвует в Свирской, Пинежской, Красно-Холмской, Северо-Двинской, Вологодской и других геологических экспедициях двадцатых-тридцатых годов. Поиски полезных ископаемых проводились в бассейне Северной Двины, на берегах Мезенского залива, Чешской губы, полуострова Канина. В 1934 г. выходит в свет первая доступная массовому читателю книга М. Б. Едемского «Геология и полезные ископаемые Северного края (краткий очерк)» [Едемский, 1934].

Начиная с 1930-х годов центр геологических исследований, базирующийся в г. Воркуте, обеспечивает изучение и освоение месторождений угля Печорского бассейна, а затем проводит крупномасштабные геологические съемки, поиски и оценку месторождений хромитов, баритов, золота, марганца, жильного кварца и других полезных ископаемых на Приполярном и Полярном Урале, Пай-Хое. В 1975 г. было создано Полярно-Уральское производственное геологическое объединение «Полярно-уралгеология».

Северным геологическим управлением выполнена работа по изучению геологического строения северо-востока европейской части СССР, составлена геологическая карта Архангельской и Вологодской областей, разведаны и переданы в эксплуатацию ряд месторождений неметаллических полезных ископаемых (Савинское и Орлецкое месторождения известняков, глины и др.), открыты залежи каменной соли в районе Корьяжмы. Опубликован ряд трудов по геологии этих районов.

В 1922 году образована контора Чупинских горных разработок («Чупгорн») в поселке Чупа. После гражданской войны началась массовая добыча слюды. Стали разрабатываться заброшенные «дедовские» карьеры. Начались поиски

новых месторождений, вблизи них возникали поселки горняков. В создание на Севере минерально-сырьевой базы керамической промышленности большой вклад сделан П. А. Борисовым [1954]. Именно он предложил назвать сырье керамическим пегматитом. На Европейском Севере известны три района, где в результате геологических процессов разведаны месторождения мусковита: Енско-Кольский, Чупино-Лохский и Кемско-Беломорский, поэтому естественно, что «слюдный промысел» на территории России зародился именно в Западном Прибеломорье. Беломорская слудоносная пегматитовая провинция по своему потенциалу становится второй минерально-сырьевой базой в СССР после Мамской провинции Восточной Сибири.

Весьма поучительна история исследования кианитовых проявлений Карелии, отражающая эволюционный переход от оценки их использования для получения алюминия, затем для производства силумина, и, наконец, кианит становится практически ценным промышленным минералом, химические и физические свойства которого стали предметом пристального внимания, в первую очередь со стороны огнеупорной и керамической промышленности.

Первые шаги по геологическому заключению о наличии кианитовых проявлений в Карелии и на Кольском полуострове были сделаны в 1929 году. Исследования проводились по заданию Совнаркома СССР в связи с поисками руд алюминия и созданием алюминиевой промышленности для развития самолетостроения. В результате за период с 1928 по 1934 г. на Кольском полуострове, в Кейвах, А. А. Григорьевым с коллегами и в Северной Карелии В. С. Артамоновым, В. А. Токаревым и Л. Я. Харитоновым выявлено несколько кианитовых проявлений. Руководил поисками П. А. Борисов, под редакцией которого в 1940 году издан сборник «Большие Кейвы».

В 1930-е годы была объявлена программа по абразивам. В связи с этим поиски и оценка проявлений гранатовых руд стали актуальной задачей. Рассматривалась возможность использовать в этих целях карельские объекты. П. А. Борисов привлек внимание к Шуерецкому району Карельского побережья Белого моря. В результате было открыто и оценено Тербеостровское месторождение гранатовых руд. Одновременно О. А. Воробьев и Б. М. Куплетский открыли гранат на Кольском полуострове.

Практическое использование рыхлых (выветрелых) шунгитоносных пород началось с применения их в качестве смазки для осей мельничных жерновов, тележных колес и краски. При Петре I аспидный сланец (шунгиты)

употреблялся в отделке деталей архитектурных сооружений. Основа для изучения шунгитов Карелии как объекта научного и практического значения заложена с 1860 года, когда академик Г. П. Гельмерсен описал древние глинистые черные сланцы Олонии, изобилующие графитом. В 1875–1897 гг. причиной резкого интереса к Шунгскому месторождению явилась существовавшая потребность России в угле, так как назревала русско-турецкая война. Документально восстановлены результаты исследований того периода, в т. ч. роль академика А. А. Иностранцева. В 30-е годы прошлого столетия к шунгитовым породам был вновь проявлен научный и практический интерес, свидетельством чего стало образование треста «Шунгит». Перед сотрудниками треста была поставлена главная задача, касающаяся возможности использования шунгитов как сырьевой базы для обеспечения топливом Ленинграда и Ленинградской области. Подобное партийное решение было невыполнимо. Ответственность понесло руководство треста, а в целом все это на несколько лет стало тормозом для исследований шунгитовых пород.

В мае 1922 г. вышел из печати сборник «Хибинский массив», в котором приводились первые научные данные о хибинских апатитовых месторождениях, полученные в результате экспедиции под руководством А. Е. Ферсмана и его сотрудников в 1920–1921 годах.

Месторождения Хибин имеют более чем 90-летнюю историю геологического изучения. Заявочные столбы на перемычке южного плато Расвумчорра и на северной кромке Ийолитового отрога, круто обрывающегося в сторону Апатитового цирка, были установлены А. Н. Лабунцовым 7 сентября 1926 г. Эта дата в историографии Хибин считается открытием месторождений Плато Расвумчорр и Апатитовый цирк. Факт открытия этих месторождений был официально подтвержден комиссией Комитета по развитию естественных производительных сил России в составе Р. Л. Самойловича, Д. И. Щербакова и П. А. Борисова, специально командированных в Хибин А. Е. Ферсманом [Каменев, 1987]. В ноябре 1929 г. создан трест «Апатит», а уже в ноябре 1934 г. АНОФ-1 выдала первый кондиционный апатитовый концентрат.

Изучение Ковдорского массива началось в 1933 году. К. М. Кошиц при геологической съемке масштаба 1:50 000 обнаружил здесь железорудные проявления. Весной 1940 года Ленинградским геологическим управлением была организована Енская комплексная экспедиция для детальной разведки месторождения железных руд и проведения геологической, гидрогеологической и магнитометрической съемок мас-

штаба 1:25000 Ковдорского массива. В 1947 г. на промышленное значение вермикулита в породах Ковдорского массива указал Н. Д. Соболев. Позже в процессе работ удалось обнаружить крупный участок с повышенной концентрацией вермикулита в северо-восточной части массива. Запасы были оценены в 220 тыс. тонн. Широкие поиски вермикулита и детальная разведка наиболее перспективных участков всего месторождения продолжены Северо-Западным геологическим управлением в 1959–1961 гг. Работы возглавлялись С. С. Осиповым, В. И. Терновым и Б. И. Сулимовым. В 1961 году коллективом Ковдорской геологоразведочной партии СЗГУ под руководством ст. геолога В. И. Тернового составлен отчет с подсчетом запасов вермикулита. Уже в этом отчете отмечались уникальные размеры флогопитового месторождения. В 1964 году под руководством главного геолога Ковдорской ГРП В. И. Тернового представлен отчет о промышленной оценке флогопитового месторождения с подсчетом запасов флогопита. В феврале 1965 года отчет и запасы флогопита были утверждены ГКЗ (протокол № 4529 от 17 февраля 1965 года). Месторождение флогопита оценено ГКЗ как крупнейшее в мире.

К сожалению, в 1992 г. на базе объединения «Ковдорслюда» образовалось 7 отдельных предприятий по добыче мусковита, флогопита, вермикулита и кварц-полевошпатового сырья. К началу 2000-х гг. практически все они прекратили свое существование. Единственный оставшийся действующим рудник «Чалозеро» (ООО «Кольский пегматит» добывает кварц-полевошпатовое сырье) также находится на грани банкротства. В те же годы подобная картина произошла и с другими горными компаниями на Севере.

Ельтьозерский массив был обнаружен Ю. С. Неуструевым в 1936 году. В период 1954–1956 гг. проведены поисково-оценочные работы СЗТУ, основным результатом которых стал подсчет запасов титановых руд по категориям C_1 и C_2 на участке Суриваара. К следующему важному этапу изучения геологии, петрографии и рудоносности массива относятся работы сотрудников Геологического отдела Карельского филиала АН СССР (период 1954–1959 гг.), итогом которых явился выпуск монографии [Богачев и др., 1963].

Общие черты геологического районирования и промышленные минералы севера европейской части России

На схеме геологического строения континентальной части Европейского Севера (рис. 1)

выделяются четыре геологические провинции, отличающиеся друг от друга палеогеодинамическими условиями длительной истории геологического развития от 3,5 млрд лет до современного периода. Карело-Кольский регион представляет собой восточную часть Фенноскандинавского щита – это фундамент Восточно-Европейской платформы, сложенный докембрийскими образованиями.

Фундамент полого погружается под осадочный чехол Русской плиты, сменяющейся Тиманской складчатой зоной (Канино-Тиманская гряда), а далее на востоке располагаются валы и впадины Тимано-Печорской эпибайкальской плиты [Тимонин, 1998; Недра..., 2003].

Мегаструктура Фенноскандинавского щита характеризуется событиями активных и длительных периодов становления от ранних этапов формирования земной коры (> 3,5 млрд лет) со сменой геологических режимов всей последующей истории геологического развития (архей – настоящее время). Становление континентальной коры Лапландско-Кольско-Карельской провинции (значительная часть территории Карелии и Кольского полуострова) проходило в позднем архее и завершилось в условиях протоплатформенного режима в палеопротерозое.

В геологическом отношении в условиях северо-восточной оконечности Русской плиты широко развиты современные аллювиальные, преимущественно ледниковые отложения переменной мощности, залегающие на терригенно-осадочных вендских породах, вмещающих кимберлитовые магматические образования, каменноугольные и пермские терригенно-осадочные и терригенно-карбонатные отложения, перекрывающие кимберлитовые трубки. Северо-восточная часть Русской плиты характеризуется более глубоким залеганием фундамента и наличием мощного осадочного чехла. Формирование комплекса отложений осадочного чехла происходило с начала позднего протерозоя до антропогена включительно. В конце рифея значительная часть платформы к югу от Фенноскандинавского щита опустилась и была покрыта морем до конца силура, а начиная с середины девона опустилась и покрылась морем и более южная часть плиты.

Таким образом, границами Тимано-Печорской провинции являются: на севере – берега Баренцева моря; на западе и юго-западе – установленная при помощи гравимагнитных исследований граница архейского и протерозойского фундаментов Русской платформы; на юге – административная граница Республики Коми с Пермским краем; на востоке и се-

веро-востоке – Уральский хребет (северная часть) и его продолжение – Пай-Хой.

В этих границах современное геологическое строение рассматриваемой провинции определяется в основных своих чертах наличием здесь пяти главных структурных (тектонических) элементов:

- 1) Тиманский кряж (Тиман);
- 2) Печорская тектоническая гряда;
- 3) Печорская депрессия (впадина);
- 4) Усинский (Большеземельский) свод;
- 5) Предуральский (Предуралопайхойский) прогиб (рис. 1).

Промышленные минералы

В таблице 1 приведены промышленные минералы севера европейской части России, выделенные в три группы. Таблицу сопровождает список основных публикаций по промышленным минералам Севера. На карте-схеме на основе ГИС (см. рис. 1) показаны основные месторождения и крупные проявления промышленных минералов. Ниже значительная их часть охарактеризованы в отдельных подразделах в алфавитном порядке.

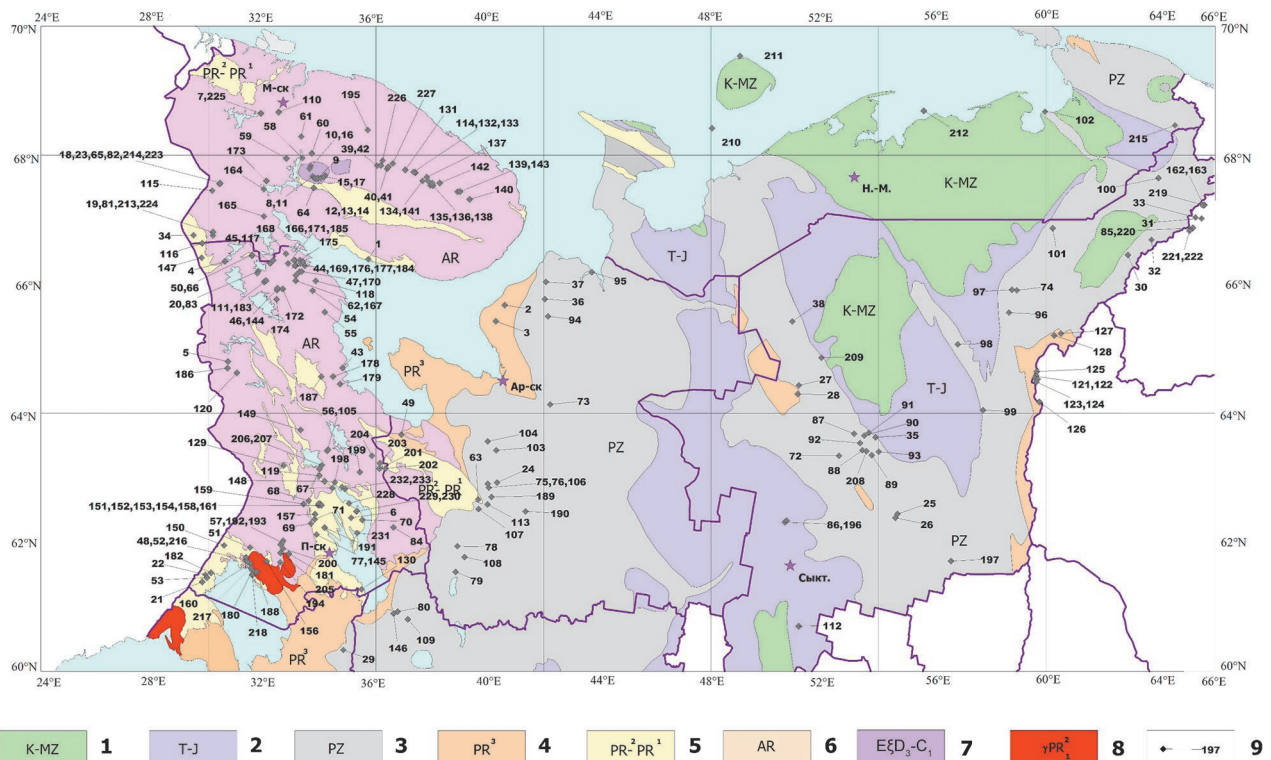


Рис. 1. Карта-схема размещения месторождений и крупных проявлений промышленных минералов севера европейской части России (обработка и создание ГИС А. К. Полин и Н. И. Щипцова):

1 – мел, включая нерасчлененный мезозой (K-MZ); 2 – триас-юра (T-J); 3 – палеозой (пермь, карбон, девон, силур, ордовик, кембрий, включая поздне триасовый-раннеюрский дайковый комплекс, ордовикско-раннетриасовые, каменноугольно-пермские, позднедевонские раннекаменноугольные, кембрийско-ордовикские, ранне-среднеордовикские и кембрийские интрузии) (PZ); 4 – неопротерозой (венд-верхний рифей, включая вендские интрузии) (PR³); 5 – мезопротерозой и палеопротерозой (средний и верхний рифей, вепсий, калевий, людиковый, ятулий, сариолий, сумий, включая позднекарельские (вепсийские) и палеокарельские интрузии (PR²-PR¹); 6 – архей (неоархей, мезоархей, палеоархей, включая лопийские, мезо- и палеолопийские интрузии) (AR); 7 – палеозойский Хибинско-Ловозерский комплекс щелочных пород (EξD₃-C₁); 8 – рифейские анортозит-рапакивигранитные плутоны (Салминский, Выборгский) (yPR₃); 9 – номер месторождения на карте. Мурманск – М-ск, Петрозаводск – П-ск, Архангельск – Ар-ск, Нарьян-Мар – Н.-М., Сыктывкар – Сыкт.

Fig. 1. Map of deposits and major occurrences of industrial minerals in the North of the European part of Russia:

1 – Cretaceous (including undivided Mesozoic) (K-MZ); 2 – Triassic-Jurassic (T-J); 3 – Paleozoic (Permian, Carboniferous, Devonian, Silurian, Ordovician, Cambrian, including Late Triassic-Early Jurassic dike complex, Ordovician-Early Triassic, Carboniferous-Permian, Late Devonian-Early Carboniferous, Cambrian-Ordovician, Early – Middle Ordovician and Cambrian intrusions) (PZ); 4 – Neoproterozoic (Vend-Upper Riphean, including Vendian intrusions) (pr³); 5 – the Mesoproterozoic and Paleoproterozoic (Middle and Upper Riphean, Vend, Kalevi, Ludicovian, Jatulian, Sarioian, Sumian, including Late Karelian (Vepsian) and Paleokarelian intrusions (PR²-PR¹); 6 – Archaean (Neoarchean, Mesoarchean, Paleoarchean, including Lopian, Meso and Paleolopian intrusions) (AR); 7 – Paleozoic Khibiny-Lovozero alkaline complex rocks (EξD₃-C₁); 8 – Riphean anorthosite-rapakivigranite plutons (Salminsky, Vyborgsky) (yPR₃); 9 – deposit number on the map. Murmansk – M-ck, Petrozavodsk – P-ck, Arkhangelsk – Ap-ck, Naryan-Mar – H.-M., Syktyvkar – Sykt.

Месторождения и крупные проявления промышленных минералов /
Deposits and large occurrences of industrial minerals

Алмазы / Diamonds: 1 – Терское (Terskoe), 2 – трубка им. В. Гриба (Trubka im. V. Griba), 3 – Ломоносовское (Lomonosovskoe), 4 – Соколовское (Sokolozerskoe), 5 – Корпанга (Korpanga), 6 – Кимозеро (Kimozero). **Апатит / Apatite:** 7 – Себлявр (Seblyavr), 8 – Кукисвумчорр (Kukisvumchorr), 9 – Эвеслогчорр (Eveslogchorr), 10 – Куэльпор (Kuelpor), 11 – Юкспор (Yuksporr), 12 – Апатитовый цирк (Apatitovy Tsirk), 13 – Расвумчорр (Rasvumchorr), 14 – Коашва (Koashva), 15 – Олений Ручей (Oleny Ruchei), 16 – Партомчорр (Partomchorr), 17 – Ньоркпахк (Njorkpahk), 18 – Ковдор (Kovdor), 19 – Тухтаваара (Tukhta-Vaara), 20 – Карбонатитовое (Carbonatitovoe), 21 – Райвимаки, 22 – Кайвояки (Kaivomyaki). **Бадделейт / Baddeleyite:** 23 – Ковдор (Kovdor). **Бокситы / Bauxite:** 24 – Емецкое (Emetskoe), 25 – Пузлинское (Puzlinskoe), 26 – Тимшерское (Timsherskoe), 27 – Верхне-Шугор (Verne-Shchugor), 28 – Вежаю-Ворыквинское (Vezhayu-Vorykvinskoe), 29 – Мягозерское (Myagozerskoe). **Барит / Barite:** 30 – Пальникское (Palnikskoe), 31 – Поуркеу (Pouркеу), 32 – Хойлинское (Khoilinskoe), 33 – Войшорское (Voyshorskoe), 34 – Салланлатва (Sallanlatva). **Гипс, ангидрит / Gypsum, anhydrite:** 35 – Ижемское (Izhemskoe), 36 – Березовское (Berezovskoe), 37 – Летнее (Letnee), 38 – Мыла (Myla). **Гранат / Garnet:** 39 – Тахлнтуайв (Tahlntuaviv), 40 – Березовое (Berezovoe), 41 – Ровозеро (Rovozero), 42 – Макзапахк (Makzapahk), 43 – Тербеостров (Terbeostrov), 44 – Левин Бор (Levin Bor), 45 – Униярви (Uniyarvi), 46 – Высота-181 (Vysota-181), 47 – Западная Плотина (Zapadnaya Plotina), 48 – Кителя (Kitelya). **Гранит, гнейсо-гранит, гранитоидный, граносиенит / Granite, gneiss granite, granite gneiss, granosyenite-salts:** 49 – Золотуха (Zolotykhа), **Графит / Graphite:** 50 – Хирвинаволок (Хирвинаволок), 51 – Полвилампи (Polvilampi), 52 – Кительское (Kitelskoe), 53 – Ихала (Ihala). **Диатомит, опока / Diatomets, opoka:** 54 – Амбарная Ламбина (Ambarnaya Lambina), 55 – Сигозеро (Sigozero), 56 – Урусозеро (Urusozero), 57 – Шуйское (Shuiskoe), 58 – Травяное (Travyanoe), 59 – Окуневое (Okunevoe), 60 – Веске-Ламбина (Veske-Lambina), 61 – Масельское (Masel'skoe), 62 – Ряпукуозеро (Ryapukuzero), 63 – Мяндуха (Myandukha). **Доломиты (включая природную соду и химически чистый доломит) / Dolomites (including natural soda, chemically pure dolomite):** 64 – Титанское (Titanskoe), 65 – Ена-Ковдорское (Ена-Kovdor), 66 – Кукасовское (Kukasovskoe), 67 – Шайдомское (Shaidomskoe), 68 – Райгуба-Минозерское (Rauguba-Minozerskoe), 69 – Виданское (Vidanskoe), 70 – Кузарандовское (Kuzarandovskoe), 71 – Пялозерское (Pyalozerskoe), 72 – Чиньяворык (Chinyavoruk), 73 – Нижнепаленьское (Nizhepalenskoe), 74 – Большесарьугинское (Bolshesaryuginskoe), 75 – Савинское (Savinskoe), 76 – Савинское-1 (Savinskoe-1), 77 – Дворцовское (Dvortsovskoe), 78 – Михалевское (Mikhalevskoe), 79 – Килинское (Kilinskoe), 80 – Темноручейское (Темноручейское). **Дуниты, оливиниты / Dunites, olivinites:** 81 – Петяйянваря (Petyaiyanvara), 82 – Ковдор (Kovdor), 83 – Шапкозеро (Shapkozero), 84 – Аганозерское (Aganozerskoe), 85 – Центральное (Tsentralnoe). **Известняки (включая природную соду и химически чистый известняк) / Limestones (including natural soda, chemically pure limestone):** 86 – Сереговское (Seregovskoe), 87 – Курские Дачи (Kurskie Dachy), 88 – Лунвож (Lunvoyazh), 89 – Лыаель (Lyael), 90 – Бельгоское (Belgоское), 91 – Катыдель, блок С1-2 (Katydel, block С1-2), 92 – Кербадель (Kerbadel), 93 – Седьюское (Sedyuskoe), 94 – Большая Турья (Bolshaya Turya), 95 – Мыс Карговский (Мыс Kargovskiy), 96 – Джинтуйское (Dzhintuiskoe), 97 – Сарьугинское (Saryuginskoe), 98 – Сухой Лог (Sykhoy Log), 99 – Еджид-Кыртинское (Edzhid-Kyrtinskoe), 100 – Изьюрвожское (Izyurvozhskoe), 101 – Войсавожское (Voisavozhskoe), 102 – Хайпудырское (Хайпудырское), 103 – Обозерское (Obozerskoe), 104 – Швакинское (Shvakinskoe), 105 – Уросозерское (Urosozerskoe), 106 – Савинское (Savinskoe), 107 – Иксинское (Iksinskoe), 108 – Климовское (Klimovskoe), 109 – Белоручейское (Belorucheyское). **Ильменит / Ilmenite:** 110 – Гремяха-Вырмес (Гремяха-Vyrmes), 111 – Суриваара (Surivaara). **Каолиновые (огнеупорные) глины / Kaolinite (refractory clay):** 112 – Нючпас (Nyuchpas), 113 – Булатовское (Bulatovskoe). **Кварц / Quartz:** 114 – Тяпыш-Маник (Тяпыш-Manyuk), 115 – Перчатка (Perchatka), 116 – Майское (Mayskoe), 117 – Степаново озеро (Stepanovo ozero), 118 – Никонова Варакка (Nikonova Varakka), 119 – Фенькина-Лампи (Fenkina-Lampi), 120 – Меломайс (Melomais), 121 – Додо (Dodo), 122 – Зейка (Zeika), 123 – Хусь-Ойка (Khus-Oika), 124 – Пуйва (Puiva), 125 – Бета-Шор (Beta-Shor), 126 – Педы-Шор (Pedy Shor), 127 – Пеленгичей-3 (Pelengichey-3), 128 – Желанное (Zhelannoe). **Кварциты / Quartzite:** 129 – Метчангъярви (Metchangyarvi), 130 – Рыборецкое (Ryboroetskoe). **Кианит (силлиманитовая группа) / Kyanite (sillimanite group):** 131 – Воргелурта (Vorgelurta), 132 – Тавутра (Tavutra), 133 – Тяпышманюк (Тяпыш-Manyuk), 134 – Червурта (Chervurta), 135 – Большая Ров (Bolshoy Rov), 136 – Ягельурта (Yagelurta), 137 – Безымянное (Bezымянное), 138 – Западная Курпурта (Zapadnaya Kurpurta), 139 – Нусса (Nussa), 140 – Маник (Manyuk), 141 – Восточная Червурта (Vostochnaya Chervurta), 142 – Шуурурта (Shuururta), 143 – Кайпурта (Kairurta), 144 – Хизоваара (Khizovaara). **Минеральные краски / Mineral paints:** 145 – Дворцовское (Dvortsovskoe), 146 – Тагажемское (Tagazhemskoe). **Мрамор / Marble:** 147 – Соваярви (Sovayarvi), 148 – Чебино-Остречье (Chebino-Ostreichie), 149 – Елмозерское (Elmozerskoe), 150 – Рускеала (Ruskeala), 151 – Белогорское (Belogorskoe), 152 – Красноргорское (Krasnorgorskoe), 153 – Миногорское (Minogorskoe), 154 – Вонгубское (Vongubskoe), 156 – Ковадъярви (Kovadjarvi), 157 – Усунское (Ussunskoe), 158 – Рабочеостровское (Rabocheostrovskoe), 159 – Кривоозерское (Krivozerskoe), 160 – Леппясюрья (Leppasyryja), 161 – Лижмозерское (Lizhmozerskoe), 162 – Пайпудынское (Paiпudynskoe), 163 – Развильное (Razvilnoe). **Мусковит / Muscovite:** 164 – Риколатва (Rikolatva), 165 – Неблагора (Neblagora), 166 – Карельское (Karelskoe), 167 – Слюдозеро (Sludozero), 168 – Тэдино (Tedino), 169 – Малиновая Варакка (Malinovaya Varakka), 170 – Плотина (Plotina), 171 – Лопатова Губа (Lopatova Guba), 172 – Межозерное (Mezhozernoe). **Полевой шпат / Feldspar: Традиционный traditional.** 173 – Куру-Вара (Kuru-Vaara), 174 – Пиртима (Pirtyma), 175 – Блинковые Вараки (Blinkovye Varaky), 176 – Хетоламбина (Hetolambina), 177 – Уракка (Urakka), 178 – Торлов Ручей (Torlov Ruchei), 179 – Слюдяной Бор (Sludyanoy Bor), 180 – Люпикко (Lupikko), 181 – Кюръела (Kuryala), 182 – Яккима (Yakkima). **Нетрадиционный unconvventional.** 183 – Елетозеро (Yeletozero), 184 – Озеро Долгое (Lake Dolgoye), 185 – Нижнее Котозеро (Nizhnee Kotozero), 186 – Костомукша (Kostomuksha), 187 – Роза-Лампи (Roza-Lampi), 188 – Юка-Коски (Yuka-Koski). **Порфириды, базальты / porphyrites basalts:** 189 – Плесецкое (Plesetskoe), 190 – Мехренгское (Mekhengskoe), 191 – Хавчозерское (Khavchozerskoe). **Серный колчедан / Sulfur pyrite:** 192 – Шуйское (Shuiskoe), 193 – Хаутаваарское (Khautavaarskoe), 194 – Няльмозерское (Nyalmozerskoe). **Сподумен / Spodumene:** 195 – Васин-Мыльк (Vasin-Mylk). **Соль / Salt:** 196 – Сереговское (Seregovskoe), 197 – Верхне-Печорское, Яшкинский участок (Verkhne-Pechorskoye, Yaksinsky area). **Тальк, тальковый камень / Talc, talc stone:** 198 – Пиндуши (Pindushy), 199 – Повенчанка (Povenchanka), 200 – Игнойла (Ignoila), 201 – Светлозерское (Svetlozerskoe), 202 – Золотые пороги (Zolotyе Porogiy), 203 – Кумбукса (Kumbuksa), 204 – Возмозеро (Vozhmozero), 205 – Хюрсюля (Hursylya), 206 – Турган-Койван-Аллушта (Turgan-Koivan-Allusta), 207 – Каллиево-Муренненваара (Kallievo-Murenennvaara). **Титан, тантал, ниобий, лейкоксен / Titanium, Tantalum, Niobium, Leukoxen:** 208 – Ярегское (Yaregskoe), 209 – Пижменское (Pyzhmenское). **Титансодержащие минералы, циркон, гранат / Titanium-containing minerals, zircon, garnet:** 210 – Канинско-Колгуевская ступень (Kaninsko-Kolguevskaya step), 211 – Колгуевское поднятие (Kolguevskoye uplift), 212 – Печорская губа (Pechora Bay), **Флогопит, вермикулит / Phlogopite, vermiculite:** 213 – Петяйянваря (Petyaiyanvara), 214 – Ковдор (Kovdor). **Флюорит / Fluorite:** 215 – Буреданское (Buredanskoe), 216 – Кителя (Kitela), 217 – Хопунваара (Hopunvaara), 218 – Уксинское (Uksinskoe). **Фосфориты / Phosphorite:** 219 – Софроновское (Sofronovskoe). **Хромит / Chromite:** 220 – Центральное (Centralnoe), 221 – Западное (Zapadnoe), 222 – Западное II (Zapadnoe II). **Циркон / Zircon:** 223 – Ковдор (Kovdor), 224 – Тухта-Ваара

Таблица 1. Промышленные минералы, связанные с областями тектонического районирования севера европейской части России

Table 1. Industrial minerals associated with areas of tectonic zoning in the North of the European part of Russia

<p>Фенноскандинавский щит (российская часть – Мурманская область и Республика Карелия) Fennoscandian Shield (the Russian part of the Murmansk Region and the Republic of Karelia)</p>	<p>Север Русской плиты (Архангельская, Вологодская области, Республика Коми) North of the Russian plate (the Arkhangelsk, Vologda Regions, Komi Republic)</p>	<p>Тимано-Печорская плита и Урало-Пайхойская складчатая область (Республика Коми, Ямало-Ненецкий национальный округ) Timan-Pechora plate and the Ural-Paikhoina fold region (the Komi Republic, Yamalo-Nenets national okrug)</p>
<p>Алмазы, графит, шунгиты, кианит, силлиманит, андалузит, гранат, ильменит, магнетит, кварцевое сырье, полевошпатовое сырье, апатит, нефелин, титанит (сфен), серный колчедан, графит, мусковит, флогопит, вермикулит, бадделеит, каолин, цеолиты, сподумен, перовскит, эвдиалит, асбест, барит, серпентинит, оливинит, магнезит, хромит, диопсид, гранат, ставролит, тальк, тальковый камень, карбонатное сырье, глины, диатомиты, кровельный сланец, сырье строительного назначения, флюорит, жемчуг Diamonds, graphite, shungite, kyanite, sillimanite, andalusite, garnet, ilmenite, magnetite, quartz raw materials, feldspar raw materials, apatite, nepheline, titanite (sphene), pyrite, graphite, muscovite, phlogopite, vermiculite, baddeleyite, kaolin, zeolites, spodumene, perovskite, eudialyte, asbestos, barite, serpentinite, olivinite, magnesite, chromite, diopside, garnet, staurolite, talc, talc stone, carbonate raw materials, clays, diatomites, roofing slate, building materials, fluorite, pearls</p>	<p>Алмазы, гипс, огнеупорные глины, бокситы, пески формовочные, бентонит, базальт, каолин, цеолиты, гранат, фосфориты, карбонатное сырье (известняк и доломит), гипс, палыгорскитовые и сапонитовые глины, диатомиты, глаукониты, стекольные пески Diamonds, gypsum, refractory clay, bauxite, molding sand, bentonite, basalt, kaolin, zeolites, garnet, phosphorites, carbonate raw materials (limestone and dolomite), gypsum, palygorskite and saponite clays, diatomites, glauconites, glass sands</p>	<p>Барит, каменная и калийная соль, известняки, доломиты, гипс, ангидрит, лейкоксен, ильменит, фосфориты, цеолиты, жильный кварц, сырье строительного назначения, бокситы, каолин, флюорит, высокоглиноземистые и высокоуглеродистые сланцы, сиениты, железисто-алюминиевое сырье, фельдшпатолиты, маршаллиты, природные пигменты, диатомиты, сапонитовые глины Barite, rock and potassium salt, limestones, dolomites, gypsum, anhydrite, leucoxene, ilmenite, phosphorites, zeolites, vein quartz, raw materials for construction purposes, bauxites, kaolin, fluorite, high-alumina and high-carbon shales, syenites, iron-aluminum raw materials, feldspatolites, marshallites, natural pigments, diatomites, saponite clays</p>

Публикации:

Афанасьев, 2011; Бельков, 1963; Беляев и др., 1999; Войтеховский, 2010; Герасимов, 2007; Голдин и др., 1999; Голубев, Прусакова, 2018; Гришин и др., 2005; Евстропов и др., 1995; Жиров и др., 2019; Иванова и др., 1970; Игнатьев, Бурцев, 1997; Иевлев, 2011; Калинин, 2010; Калинин, Ковалевский, 2011; Каменев, 1987; Колокольцев, 2016; Кузнецов, 1998; Ладожская..., 2020; Лукичев и др., 2019; Минерально-сырьевая..., 2006, 2018; Морозов и др., 2010; Мультимедийный..., 2001; Малов, Щипцов, 2016; Махлаев, Голубева, 2006; Морозова, 2018; Небокситовое..., 2011; Недра..., 2003; Остащенко, 1984; Павлов, 1983; Плякин, 2014; Плякин, Беляев, 2004; Пожиленко и др., 2002; Салдин и др., 2012; Топорков, 1996; Удоратина и др., 2015; Щипцов, 2005; Юшкин и др., 1982, 2002, 2007; Precambian..., 1993; Industrial..., 1999; Heino et al., 2016; Zhiron, 2016

Publications:

Afanas'ev, 2011; Bel'kov, 1963; Belyaev et al., 1999; Voitekhevskii, 2010; Gerasimov, 2007; Goldin et al., 1999; Golubev, Prusakova, 2018; Grishin et al., 2005; Evstropov et al., 1995; Zhiron et al., 2019; Ivanova et al., 1970; Ignat'ev, Burtsev, 1997; Ievlev, 2011; Kalinin, 2010; Kalinin, Kovalevskii, 2011; Kamenev, 1987; Kolokol'tsev, 2016; Kuznetsov, 1998; Ladozhskaya..., 2020; Lukichev et al., 2019; Mineral'no-syr'evaya..., 2006, 2018; Morozov et al., 2010; Mul'timediinyi..., 2001; Malov, Shchiptsov, 2016; Makhlaev, Golubeva, 2006; Morozova, 2018; Neboksitovoe..., 2011; Nedra..., 2003; Ostashchenko, 1984; Pavlov, 1983; Plyakin, 2014; Plyakin, Belyaev, 2004; Pozhilenko et al., 2002; Saldin et al., 2012; Toporkov, 1996; Udoratina et al., 2015; Shchiptsov, 2005; Yushkin et al., 1982, 2002, 2007; Precambian..., 1993; Industrial..., 1999; Heino et al., 2016; Zhiron, 2016

Алмазы. На Карельском кратоне расположены многочисленные кимберлитовые породы различных возрастов и минеральных типов [Lehtonen, O'Brien, 2009]. К наиболее выраженным относится Кимозерская алмазоносная площадь [Ушков, 2001; Устинов и др., 2009], расположенная на северном берегу Онежского озера. Коренные проявления являются кимберлитами. Мантийный источник кимбер-

литов сформировался на рубеже не позднее 2048 ± 48 млн лет, и его глубинная эволюция в течение 100–150 млн лет привела к становлению кимозерских кимберлитов переходного типа на рубеже 1814 ± 20 млн лет [Putinceva, Spiridonov, 2018].

На рис. 2 обозначены основные районы распространения кимберлитов и лампроитов с указанием алмазных рудников в Архангель-



Рис. 2. Потенциальные алмазоносные участки
 Fig. 2. Potential diamond area

ской области. В 1980 году была открыта первая алмазоносная трубка, названная Поморской. Разведка трубки им. В. П. Гриба проведена до глубины 1010 м в 2002–2004 гг.

На Терском и Архангельском берегах Белого моря кимберлиты имеют возраст от 360 до 380 млн лет. Архангельские кимберлиты разделены географически и по минеральному составу на восточный и западный подтипы. Это второй после Якутии алмазодобывающий регион.

В западной группе находится первый в Европе алмазный рудник имени Ломоносова, который охватывает шесть отдельных кимберлитовых трубок. 70 % алмазов в этих трубках представлены двенадцатигранными ромбододекаэдрами. Балансовые запасы алмазов Архангельской области составляют немногим более 20 % от общероссийских и сосредоточены в двух месторождениях, расположенных в пределах Беломоро-Кулойского плато (Зимнебережный алмазоносный район – Ломоносовское и им. Гриба). В 2017 году добыча алмазов на обоих месторождениях составила около 6,4 млн карат [Голубев, Прусакова, 2018]. Самый большой в Европе алмаз массой 222,09 карата обнаружен на месторождении им. В. П. Гриба.

Апатиты. Хибинский щелочной массив, Хибинский щелочной плутон представляет собой самую крупную в мире интрузию нефелиновых сиенитов, мейтельгитуртитов и апатито-нефелиновых пород площадью около 1327 км². Он образовался в рамках девонской щелочной обширной изверженной провинции (LIP), обусловленной плюм-тектонической активизацией [Zhirov, 2016].

Хибинский массив (рис. 3) характеризуется собой сложную и многофазную интрузию, сформировавшуюся в процессе неоднократных внедрений щелочной магмы по системам кольцевых и конических разломов герцинского периода. Особенностью геологического строения массива является эллипсоидный в плане многофазный плутон, вытянутый в субширотном направлении по азимуту 262° с осями протяженностью 45 и 35 км со смещенной к востоку корневой частью. Он приурочен к тектоническому контакту Имандра-Варзугской зоны карелид и архейских гранито-гнейсов [Пожиленко и др., 2002]. Морфологически Хибинский щелочной массив близок к асимметричному лополиту с крутыми восточным и северным контактами и более пологими южным и западным. Западный контакт до глубины 5–6 км падает на восток под углом 70°, южный – к центру массива под углом 80°, выполаживаясь на глубине до 40–50°, северный и восточный контакты крутые, до вертикальных. Внутреннее строение массива концентрически-зональное. От периферии к центру массива друг друга сменяют дугообразные в плане тела массивных и трахитоидных хибинитов, рихсдорритов, ийолит-уртитов и связанных с ними апатит-нефелиновых руд, ляхочорритов и в ядре массива – эллипсоидная площадь распространения фойяитов, в восточной части которой находится шток карбонатитов [Иванова и др., 1970; Пожиленко и др., 2002]. Большинство выделенных концен-

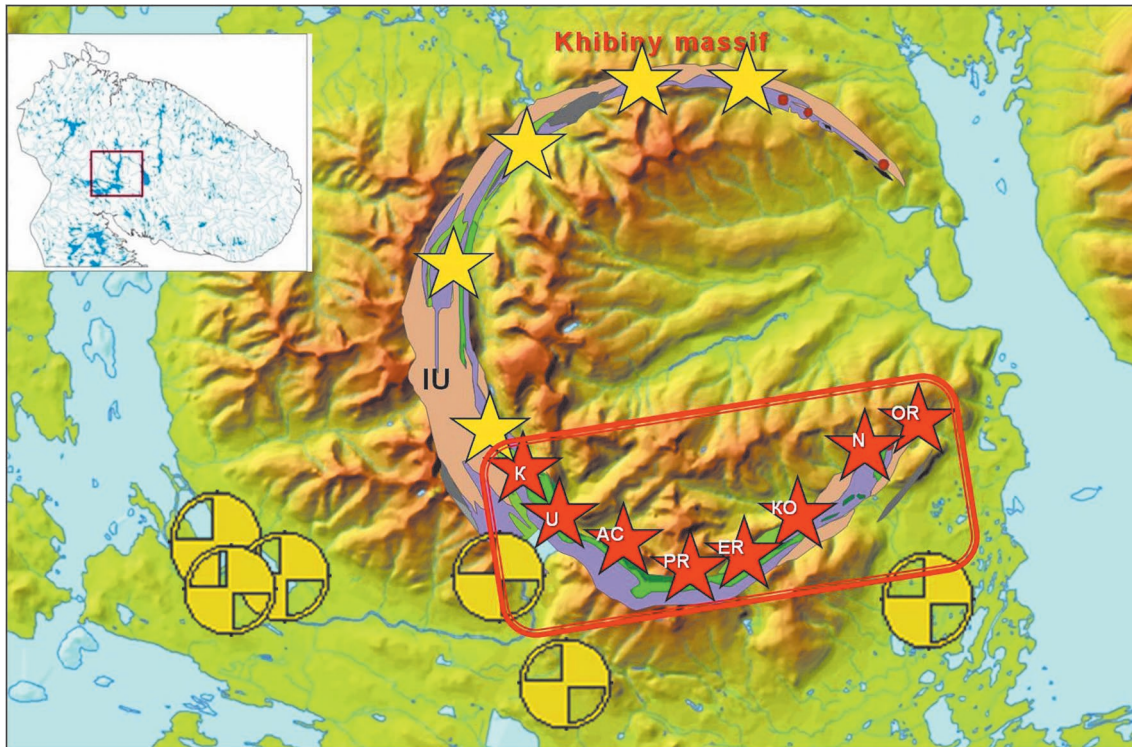


Рис. 3. Светло-теневая топографическая карта Хибинского массива с ийолит-уртитовой дугой (IUC) и апатит-нефелиновыми отложениями (красные звездочки – действующие):

К – Кукисвумчорр, Yu – Юкспор, AC – Апатитовый цирк, PR – плато Расвумчорр, ER – Восточный Расвумчорр, Ко – Коашва, N – Ньоркпахк, OR – Олений Ручей, перспективные месторождения (желтые звездочки) и хвостохранища (желтые кружки)

Fig 3. Light-shadow topographic map of the Khibiny massif with an ijolite-urtite arc (IUC) and apatite-nepheline deposits (red asterisks):

K – Kukisvumchorr, Yu – Yukspor, AC – Apatitovy Tsirk, R – Plateau Rasvumchorr, ER – East Rasvumchorr, Ko – Koashva, N – Nyorkpahk, OC – Oleny Ruchei, perspective deposits (yellow asterisks) and tailings storages (yellow circles)

трических зон, сложенных названными породами, не являются непрерывными. Контакты между субинтрузиями выражены неотчетливо. Несмотря на разнообразие пород и магматических фаз, все они укладываются по возрасту в относительно небольшой интервал времени образования 372–362 млн лет [Kramm et al., 1991, 1994; Арзамасцев и др., 1998; Родионов и др., 2018]. Продуктивной (рудовмещающей) толщей для всех апатит-нефелиновых месторождений Хибин является комплекс ийолит-уртитов или фойдолитов.

С 1930-х годов производство фосфорных удобрений в СССР, а ныне в России, базируется на апатитовом концентрате, который получают из добываемых апатит-нефелиновых руд на АНОФ в Хибинах. Ниже, в табл. 2, приводятся составы основных минералого-технологических типов руд [Дудкин, 1996].

Добыча ведется на рудниках открытым и подземным способами. Кроме апатита извлекается около одного млн тонн нефелина при производительности цеха на 4 млн тонн.

Вся история существования подобного горно-обоганительного комплекса весьма поучительна. Если начинать все с самого начала в наши дни, то вряд ли можно было бы найти источники финансирования такого проекта. Подобное предприятие – это детище советского индустриального периода. В настоящее время добычу и переработку апатит-нефелиновых руд осуществляют две компании: Кировский филиал АО «Апатит» – ФосАгро (КФ АО «Апатит») и АО «Северо-Западная фосфорная компания» (АО «СЗФК»).

Олений Ручей. Месторождение апатит-нефелиновых руд Олений Ручей расположено на крайнем ЮВ фланге ийолит-уртитовой дуги Хибинского массива непосредственно рядом с местом ее выклинивания [Иванова, 1963; Сняtkова и др., 1983; Пожиленко и др., 2002]. Это самое восточное из промышленных месторождений.

На базе месторождения построено и осуществляет свою деятельность АО «СЗФК» (рис. 4). В 2017 году мощность ГОКа составила

Таблица 2. Состав основных минералого-технологических типов руд апатито-нефелиновых месторождений Хибин (содержание минералов, мас. %)

Table 2. Composition of the main mineralogical-technological types of ores of apatite-nepheline deposits of the Khibiny (mineral content, wt.%)

Минералы Minerals	Типы руд Types of ores					
	апатит-нефелиновый apatite-nepheline		апатит-сфеновый apatite-sphene		гипергенно измененный hypergene modified	
	от	до	от	до	от	до
апатит apatite	6,1	91,4	12,0	35,0	16,1	77,0
нефелин nepheline	18,2	67,5	19,7	41,5	8,7	44,5
полевошпат feldspar	0,1	8,6	0	3,4	0,6	2,7
пироксены pyroxenes	5,5	25,7	3,7	26,7	0,9	11,8
амфибол amphibole	0	1,3	0,5	8,3	-	0,3
сфен sphene	0,6	6,2	10,8	51,9	0,2	3,5
титаномагнетит titanomagnetite	0,1	3,9	0,7	4,3	0,1	2,0
ильменит ilmenite	0	0,3	0,2	3,8	0	0,3
гидроокислы железа iron hydroxides	-	-	-	-	0,6	4,2
анатаз anatase	-	-	-	-	0,4	1,2
монтмориллонит montmorillonite	-	-	-	-	0,5	6,0
гидрослюда hydromica	-	-	-	-	6,4	24,7

4,5 млн т/год руды и 1,3 млн т/год концентрата [Годовой...]. Согласно планам развития предприятия годовые мощности будут доведены до 6 млн т руды и 1,7–1,8 млн т концентрата к 2021–2022 гг.

Залежи апатит-нефелиновых руд сконцентрированы в двух рудных ярусах: верхнем – мощностью около 200 м и нижнем – мощностью 200÷400 м, которые разделены толщей безрудных гнейсовидных ийолит-уртитов мощностью 200÷300 м, включающей маломощные разрозненные линзы апатит-нефелиновых руд, которые не увязываются в протяженные рудные тела, а также пластовыми телами рихсдорритов и нефелиновых сиенитов.

Запасы апатит-нефелиновых руд месторождения Олений Ручей подсчитывались дважды для всего месторождения (в 1985 и 2011 гг.) и дополнительно для верхнего яруса в 2015 г. Сопоставление результатов подсчетов запасов выявило расхождения, причиной которых служат более сложные, чем предполагалось по опыту разведки других хибинских

месторождений, строение и тектоника, приводящие к раздроблению, расщеплению рудных тел и изменчивости качественных параметров руд. Следствием этого стала практика селективной добычи блоков подземным способом на верхних горизонтах. Открытая добыча в ближайшие годы будет постепенно снижаться до полного завершения, а подземная – интенсивно наращиваться. Балансовые запасы апатит-нефелиновой руды по российским стандартам составляли (по состоянию на 31 декабря 2019 года): по категориям В+С₁ – 246,1 млн т (P₂O₅ – 40,6 млн т), по категории С₂ – 130,2 млн т (P₂O₅ – 19,5 млн т) [Годовой...]. Обеспеченность балансовыми запасами СЗФК при выполнении плана развития предприятия составляет 58 лет.

Ковдорский массив. Площадь Ковдорского массива – около 40,5 км², а вместе с метасоматически переработанными гнейсами в ореоле фенитизации – около 60 км². Массив представляет собой интрузию концентрически-зонального строения, имеющую в плане овальную форму, несколько вытянутую



Рис. 4. Рудник АО «Северо-западная фосфорная компания» на фоне горы Суолауйв (Хибинский массив)

Fig. 4. The industrial centre of the JSC Severo-zapadnaya fosforная kompaniya (North-Western Phosphorous Company) on the background of Mount Suoluaive (Khibiny massif)

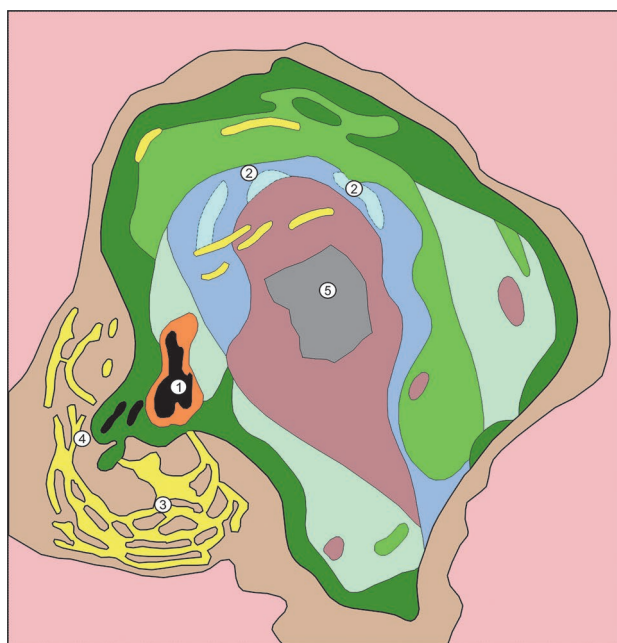
в меридиональном направлении и образующую S-образную дугу. Бурением он вскрыт до глубины немногим более 2 км, но геофизические данные позволяют предполагать, что его тело имеет веретенообразную форму и прослеживается, постепенно сужаясь, до глубины 20 км.

На площади Ковдорского массива выявлено пять промышленных месторождений: комплексное бадделеит-апатит-магнетитовое (магнетитовых и апатитовых руд), флогопит-вермикулитовое, апатитоносных карбонатитов, оливинитовое и штаффелитовое (рис. 5). Из них сегодня эксплуатируются месторождения магнетитовых и апатитовых руд, а также штаффелитовое.

В формировании Ковдорского массива выделены два основных этапа: раннемагматический и позднемагматический. По набору промышленных минералов массив характеризуется большим разнообразием – это апатит-магнетитовые руды с бадделеитом, апатит-штаффелитовые (франколитовые), флогопитовые, вермикулитовые (месторождения флогопита и вермикулита являются крупнейшими в мире) и оливинитовые руды. По Sr-Nd данным возраст оливинитов и пироксенитов

колеблется в диапазоне 373–375 млн лет [Zeisev, Bell, 1995], по бадделеитам из фоскоритов и карбонатитов – U-Pb 382 ± 3 млн лет [Баянова и др., 1997].

Рудник «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» разрабатывает Ковдорское бадделеит-апатит-магнетитовое месторождение в юго-западной части Ковдорского массива, представляющее собой вертикальный шток длиной около 1500 м, при ширине в плане 300–800 м. Начиная с 2000 г. ведутся комплексные исследования по обоснованию возможности строительства и безопасной эксплуатации сверхглубокого (> 800 м от поверхности) карьера, что позволит продлить экономически эффективную деятельность градообразующего предприятия до 2043–2048 гг. Разведочными работами установлена вертикальная зональность рудного тела (изменение содержания основных и сопутствующих полезных компонентов, минеральных фаз и др.), но она принципиально не препятствует (не требует разработки новой технологии обогащения и вскрытия) дальнейшей эксплуатации месторождения за счет строительства сверхглубокого карьера и впоследствии – комбинированного способа (подземным и открытым рудником). Поэтому основной задачей руд-



0 0,5 1,0 1,5 km



Рис. 5. Геологическая схема Ковдорского массива (по данным В. И. Тернового, Б. В. Афанасьева, Б. И. Сулимова, О. М. Римской-Корсаковой, А. А. Кухаренко и др.):

1 – кальцитовые карбонатиты, 2 – апатит-магнетитовые руды, 3 – форстерит-магнетитовые руды, 4 – апатит-форстеритовые руды, 5 – флогопитовые метасоматиты, 6 – флогопит-диопсид-форстеритовые породы, 7 – ийолиты, мельтейгиты, 8 – туряиты, меллититы, 9 – якупирангиты, пироксениты, 10 – оливиниты, 11 – гнейсы и гнейсо-граниты, 12 – фенинизация

Месторождения: 1 – апатит-магнетит и бадделейит, 2 – флогопит и вермикулит, 3 – апатит-штаффелит, 4 – карбонатит, 5 – оливинит

Fig. 5. Geological scheme of the Kovdor massif (according to V. I. Ternovoy, B. V. Afanasyev, B. I. Sulimov, O. M. Rimskaya-Korsakova, A. A. Kukhareno, etc.):

1 – calcite carbonatites, 2 – apatite-magnetite ores, 3 – forsterite-magnetite ores, 4 – apatite-forsterite ores, 5 – phlogopite metasomatites, 6 – phlogopite-diopside-forsterite rocks, 7 – ijolites, melteigites, 8 – turyaity, melilitites, 9 – yakupirangity, pyroxenite, 10 – olivinities, 11 – gneisses and gneiss-granites, 12 – fenitization

Deposits: 1 – apatite-magnetite and baddeleyite, 2 – phlogopite and vermiculite, 3 – apatite-shtaffelite, 4 – carbonatite, 5 – olivinite

ководства ГОКа на кратко-среднесрочную перспективу является максимальное продление деятельности карьера и своевременное капитальное строительство инфраструктуры под будущий подземный рудник [Жиров и др., 2016].

Эксплуатация месторождения карьером началась в 1962 г. Это один из крупнейших ка-

рьеров в Кольском регионе, который имеет параметры около 2 км в длину, 1,8 км в ширину и около 500 м глубины. Извлекаемые запасы оцениваются в около 160 млн тонн руды со средним содержанием 24,6 % Fe; 6,7 % P₂O₅; 0,14 % ZrO₂, а извлекаемые запасы для проектируемого карьера глубиной около 900 м составляют 590 млн тонн руды со средним содержанием 24,2 % Fe; 6,7 % P₂O₅; 0,16 % ZrO₂ [Петрик и др., 2012].

В 2000 г. начались инженерно-геологические изыскания и проектирование сверхглубокого карьера. Его строительство позволит достичь следующих годовых параметров выпуска: железорудный концентрат – 5,5–6 млн т, апатитовый концентрат 2,2–2,4 млн т, бадделейит 6–7 тыс. т.

Разработка главной залежи флогопитового месторождения проводилась с 1966 г. подземным и с 1979 г. открытым способом. Выборка флогопита из жильной массы осуществлялась механическим способом и вручную. В 2009–2015 гг. ОАО «Ковдорслюда» (до 2010 г.), а затем ООО «Ковдорслюда» прошло процедуру банкротства.

В таблице 3 приведены основные характеристики трех действующих компаний Мурманской области по добыче и переработке апатитовых руд.

Бариты. В Воркутинском районе Республики Коми на Полярном Урале известны Хойлинское, Малохойлинское и Пальникское месторождения баритов, открытые и разведанные в 1960–70-х годах [Юшкин и др., 2002]. Сведения о геологическом строении месторождений, минеральном составе, качестве, ресурсах, запасах, добыче и переработке баритовых руд изложены в работах Н. В. Лютикова, А. И. Водолазского, Б. Я. Дембовского, Н. П. Юшкина, А. Ф. Кунца, Т. И. Тараниной, Н. Н. Герасимова. На Хойлинском месторождении выявлено три крупных баритовых тела (Восточное, Центральное, Западное) протяженностью до 1500 м при мощности до 40 м (рис. 6 и 7). Рудные тела почти полностью сложены голубовато-серым, темно-серым баритом.

По вещественному составу руды Хойлинского месторождения являются существенно баритовыми с небольшой примесью кварца и кальцита. Среднее содержание BaSO₄ по рудным телам в контурах карьеров изменяется от 84,78 до 86,04 %. Руды практически без обогащения соответствуют классу Б, маркам КБ-6, КБ-5, КБ-3 и могут использоваться для получения бурового баритового утяжелителя.

Разработка месторождения велась эпизодически ЗАО «Хойлинский ГОК» с 1998

Таблица 3. Крупные действующие горные предприятия Мурманской области по добыче промышленных минералов (по состоянию на 01.01.2019 г.)

Table 3. Large operating industrial minerals enterprises of the Murmansk Region (as of 01.01.2019)

Наименование предприятия Company name	Способ добычи, объемы, % Production method, volume, %	Действующие лицензии на месторождения Valid deposit licenses	Основная продукция Main products	Объем, в % к национальному Volume, % of the national	Обеспеченность запасами, лет Provision with reserves, years
КФ АО «Апатит» Apatit	Открытый (30) Подземный (70) Open (30) Underground (70)	Кукисвумчорр, Юкспор, Ййолитовый отрог, Апатитовый цирк, Расвумчорр, Коашвинское, Ньоркпахк Kukisvumchorr, Yuksporr, Iyolite spur, Apatite circus, Rasvumchorr, Koashvinskoe, Nyorkpahk	Апатитовый концентрат, нефелиновый концентрат Apatite concentrate, nepheline concentrate	70 100	Более 50 для подземной добычи, Около 30 для открытой добычи Over 50 for underground mining, About 30 for open mining
АО «Ковдорский ГОК» Kovdor GOK	Открытый (100) Open (100)	Ковдорское магнетитовых и апатитовых руд, Ковдорское апатит-штаффелитовых руд Kovdor magnetite and apatite ores, Kovdor apatite-staffelite ores	Железорудный концентрат, апатитовый концентрат, бадделейитовый концентрат Iron ore concentrate, apatite concentrate, baddeleyite concentrate	5–6 20–25 100	Более 40 для открытых работ Over 40 for open mining
АО «СЗФК» SZFK	Открытый (90) Подземный (10) Open (90) Underground (10)	Олений Ручей, Партомчорр Oleny Ruchei, Partomchorr	Апатитовый концентрат Apatite concentrate	10	Более 50 для подземной добычи Over 50 for underground mining

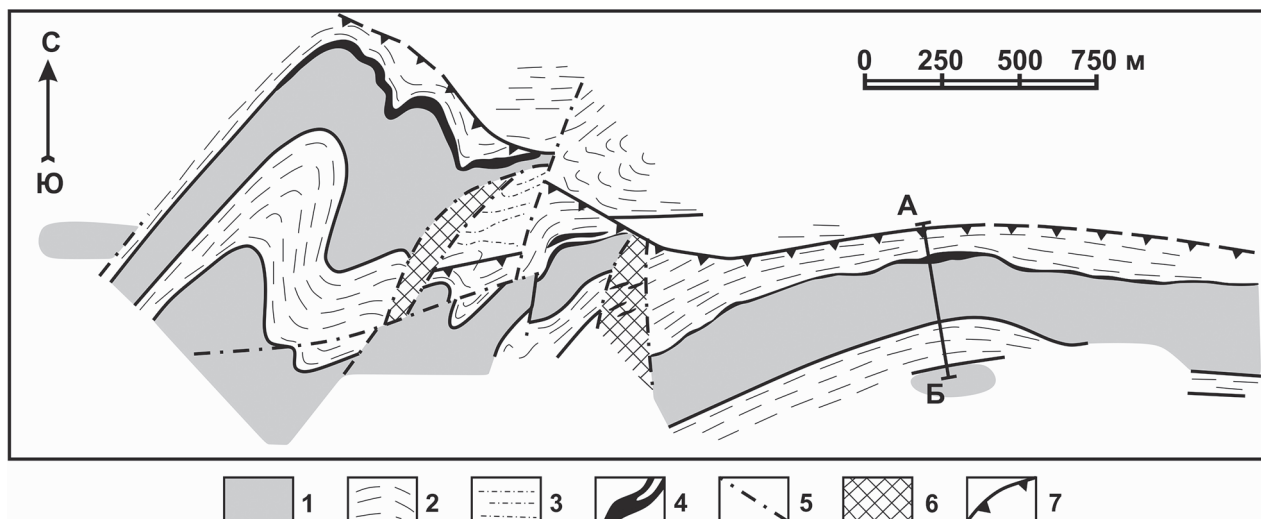


Рис. 6. Схематическая геологическая карта Хойлинского месторождения [Юшкин и др., 2002]:

1 – терригенные отложения пагинской свиты, 2 – кремнисто-сланцевые отложения пагинской свиты, 3 – терригенные отложения яйюсской свиты, 4 – баритовая залежь, 5 – тектонические нарушения типа сброса, 6 – зоны дробления, 7 – крупный надвиг

Fig. 6. Schematic geological map of the Khoylinskoye field [Yushkin et al., 2002]:

1 – terrigenous deposits of the Paginskaya suite, 2 – siliceous-shale deposits of the Paginskaya suite, 3 – terrigenous deposits of the Yayuskaya suite, 4 – barite deposit, 5 – tectonic violations of the type of discharge, 6 – crushing zones, 7 – large thrust

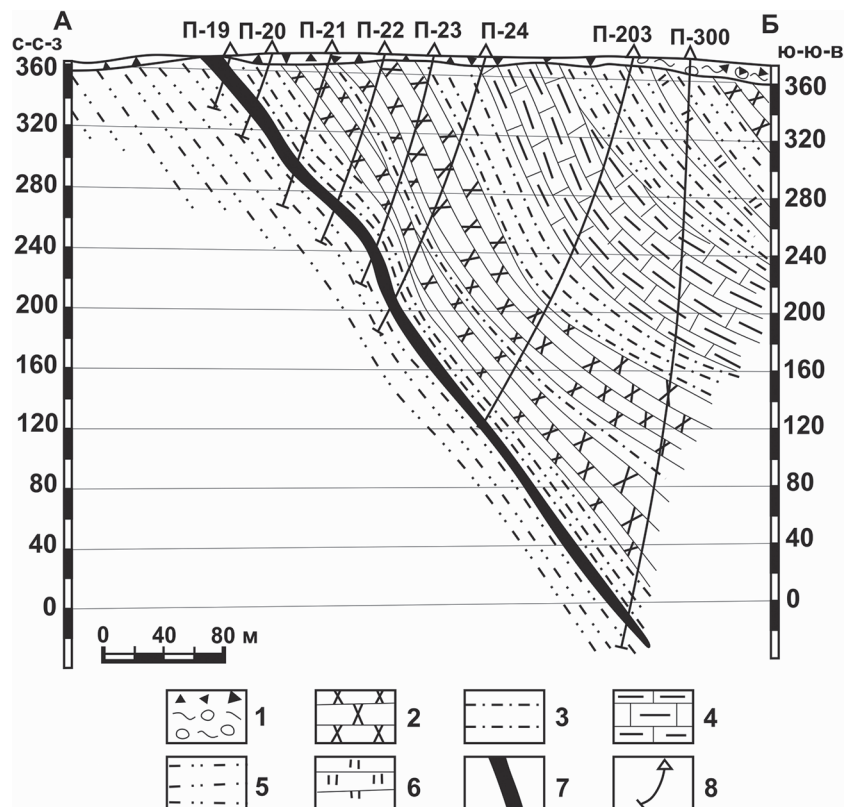


Рис. 7. Разрез по линии А–Б Хойлинского месторождения (см. рис. 6):

1 – суглинки, 2 – песчаники кварцитовые, 3 – сланцы алевроглинистые, 4 – известняки, 5 – известняки углистые, 6 – сланцы кремнисто-глинистые, кремнистые, углисто-кремнистые, 7 – бариты, 8 – скважина и ее номер

Fig. 7. Section along the A–B line of the Khoylinskoye field (see Fig. 6):

1 – loam, 2 – quartzite sandstones, 3 – silty clay shales, 4 – limestones, 5 – carbonaceous limestones, 6 – siliceous-clay shales, siliceous schists, carbonaceous-siliceous schists, 7 – barite, 8 – drill hole and its number

по 2009 г. Запасы Хойлинского месторождения составляют 30 % всех запасов барита в РФ и 14 % всех запасов, сосредоточенных в Европе [Герасимов, 2007; Калинин, 2010].

Наряду с Хойлинским месторождением барита перспективы связаны с Малохойлинским и Пальникским проявлениями, имеющими оценку на стадии поисково-оценочных работ. Все эти объекты расположены в Собско-Пальникском баритоносном районе Полярно-Уральской минерагенической зоны.

Разработка Саланлатвинского месторождения на Кольском полуострове, сложенного барит-сидеритовыми и анкерит-баритовыми рудами, возможна для организации малого предприятия мощностью 50 т баритовой руды на участке кор выветривания в центре месторождения [Афанасьев, 2011].

Графиты. В Свекофеннской провинции на территории Приладожья обнаружено 26 проявлений различных типов графита [Леонть-

ев и др., 2006]. В Западном Приладожье открыты графитовые руды метаморфогенного типа – Ихальское рудное поле (метаморфогенные месторождения графита имеют основное значение в мировом балансе графитового сырья). Рудное поле состоит из собственно Ихальского месторождения и нескольких проявлений легкообогатимых руд с чешуйчатым графитом (Ихальское I, Ихальское II, Ихальское III, Ихальское IV, Ихальское V, Ихальское VI, Терваярвинское, Ликолампинское и Кайвомякское), которые слагают стратиформную графитовую формацию в гнейсах [Ладожская..., 2020]

Месторождение приурочено к образованиям углеродистой сланцево-карбонат-толеитобазальтовой геологической формации раннего лодиковия питкьярантской свиты сортавальской серии. Основная рудная залежь Ихальского месторождения представляет собой крутопадающее пластообразное тело, сложенное главным образом графитосодержащими биотитовыми

сланцами и мигматитами по ним, вытянутое в субмеридиональном направлении, выклинивающееся на севере и на юге. Длина залежи по простиранию составляет 1700 м, мощность достигает 450 м. По падению залежь прослежена до глубины около 100 м и не имеет признаков разубоживания [Леонтьев и др., 2006].

На участке Ихальского месторождения оценены запасы C_2 и прогнозные ресурсы P_1 . Запасы определены в трех подсчетных блоках в количестве 81,4 млн т руды до глубины 120 м при среднем содержании углерода 3,01 % (бортное содержание графитного углерода 2 %) [Недра..., 2003].

Планируется добыча, обогащение графитовой руды, производство высокочистого и сферического графита для литий-ионных батарей, графитовых смазок.

Известняки. Новые перспективы в качестве источников сырья для металлургической промышленности, пигментов-наполнителей в целлюлозно-бумажной промышленности, производства химически осажденного карбоната кальция, специальных видов цемента связываются с ресурсами известняков, выявленных в Воркутинском, Печорском, Ухтинском, Удорском, Усть-Куломском районах Республики Коми.

Известняки, реже доломиты, используются в сталеплавильном, ферросплавном и доменном производствах в качестве флюсов. Один из крупных действующих объектов – это Белоручейское месторождение, открытое в 1949 году. Его запасы составляют 9 % всех запасов флюсовых известняков в России. Белоручейское рудоуправление добывает 1,5 млн тонн известняка в год, закрывая 1/3 потребностей ОАО «Северсталь».

В Архангельской области отрабатываются месторождения известняков Швакинское, Обозерское. Из известняков производится осажденный карбонат кальция для целлюлозно-бумажной промышленности и планируется производство раскислителей почв.

Каолинитовые глины. Территории Среднего и Южного Тимана образуют новую перспективную каолинитоносную провинцию (огнеупорные и тугоплавкие глины) [Беляев, 2003]. На Среднем Тимане выявлены перспективные на каолиниты Вежаю-Ворыквинская, Светлинская площади, Светлинско-Цилемская область, с ресурсами 25–30 млн т, на Южном Тимане – Тимшери-Пузлинская, Кедвинская группы проявлений с ресурсами 50–100 млн т. Каолинитовые глины Пузлинского проявления связаны с отложениями визейского яруса нижнего карбона. В пределах Лоимской перспективной

площади ресурсы белых глин оценены по категории P_1 и составляют 32 млн т.

Кварц. Современную ситуацию на рынке особо чистого кварца можно охарактеризовать как практически монополизированную компанией Unimin – ее доля составляет 80 %. Китайские и российские производители выпускают соответственно 7 и 5 %.

На территориях Ямало-Ненецкого автономного округа и Республики Коми располагается крупнейшая в России Приполярноуральская кварцевозильно-хрусталеносная провинция, включающая основные российские запасы и ресурсы прозрачного жильного кварца, горного хрусталя и пьезооптического кварца [Евстропов и др., 1995; Кузнецов, 1998; Кузнецов и др., 2013].

Месторождение Желанное отличается уникальным качеством сырья и содержит большую часть запасов пьезооптического кварца России. Средний коэффициент светопропускания – 44,9 %. Особенности сырья – высокая химическая чистота (массовая доля элементов-примесей не превышает 0,0194 %). Горный хрусталь месторождения характеризуется высокой химической однородностью, низким содержанием микропримесей. Средний размер кристаллов горного хрусталя и дымчатого кварца 5–10 см по удлинению, 2–50 см в поперечнике, вес от 3 до 30 кг, максимальные 200–300 кг. Также развиты цитриновые и дымчато-цитриновые разности кристаллов в Восточной зоне. Коллекционный интерес представляют щетки и друзы, нередко музейного качества.

Горный хрусталь отвечает требованиям ОСТ 41-07-152-86 и ОСТ 41-07-76-86, используется в промышленности для получения кварцевого стекла и как пьезосырье.

Современный спрос российской промышленности на кварцевое сырье, особенно на горный хрусталь и пьезооптический кварц, в связи со стагнацией высокотехнологичных производств остается низким. Тем не менее на месторождении Желанное продолжается добыча жильного кварца. С другой стороны, существуют планы: проект «Полярный кварц» предполагает создание комплекса, выпускающего ряд исходных материалов для наноэлектронной, оптической, светотехнической и химической промышленности. Компания «Полярный кварц» владеет лицензиями на разработку месторождений Додо, Хусь-Ойка и Нестер-Шор Неройской группы.

На территории Карело-Кольского региона в результате поисково-оценочных работ выделены перспективные зоны, районы, узлы,

месторождения – Перчатка, Степаново озеро, Меломайс, Фенькина-Лампи и др. Проведенные работы по оценке кварцевого сырья были направлены на выявление геологических, минералого-петрографических особенностей кварцевых пород, а также проводилось предварительное и глубокое обогащение кварцевого сырья с получением кварцевых концентратов и оценкой их качества.

Кианит. Благодаря кейвским кианитовым месторождениям выделен кейвский метаморфогенный тип глиноземистой формации щитов, которые по своим масштабам несравнимы ни с одним из других известных в мире месторождений высокоглиноземистого сырья и по геологическим запасам превосходят все иные месторождения вместе взятые. Запасы кианитовых руд в Кейвах сосредоточены на наиболее крупных месторождениях – Воргельурта, Тавурта, Безымянное, Большой Ров, Ягельурта, Кайпурта, Червурта, Восточная Червурта, Шуурурта, Манюк и др. (рис. 8). Они связаны с кианитовыми сланцами неогархея нижнего продуктивного пласта. Характерной особенностью пород являются темно-серый цвет, общая повышенная концентрация кианита и многообразие форм его развития. По составу и морфологическим типам кианита среди этих сланцев выделяются параморфические

(с параморфозами кианита по хиастолиту), конкреционные, агрегатно-волоконистые (сноповидные, волокнистые, радиально-волоконистые), радиально-лучистые, призматически-зернистые, порфиробластические кианитовые и ставролит-кианитовые сланцы [Огородников и др., 2013].

Общая протяженность выходов на поверхность продуктивного пласта кианитовых сланцев в северном и южном крыльях Кейвского синклинория достигает 420 км. В наиболее перспективных участках (общей протяженностью 37 км) мощность продуктивного пласта возрастает до 60–80 м, одновременно повышается содержание кианита в рудах до 35–40 %. Такие зоны и определяют месторождения [Бельков, 1963]. Минералогическое изучение кианитовых руд кейвских месторождений показало, что они не могут быть отнесены к категории богатых руд высокоглиноземистого сырья. Запасы кианита в рудах месторождений Кейвской группы Кольского п-ова составляют около 1 млрд т, ресурсы – более 2 млрд т.

В Карелии продуктивные кианитовые руды сформированы в пределах Хизоваарской структуры архейского Северо-Карельского зеленокаменного пояса. К потенциальному и оцененному объекту относятся шесть залежей кианит-серицит-кварцевых, кианит-кварцевых

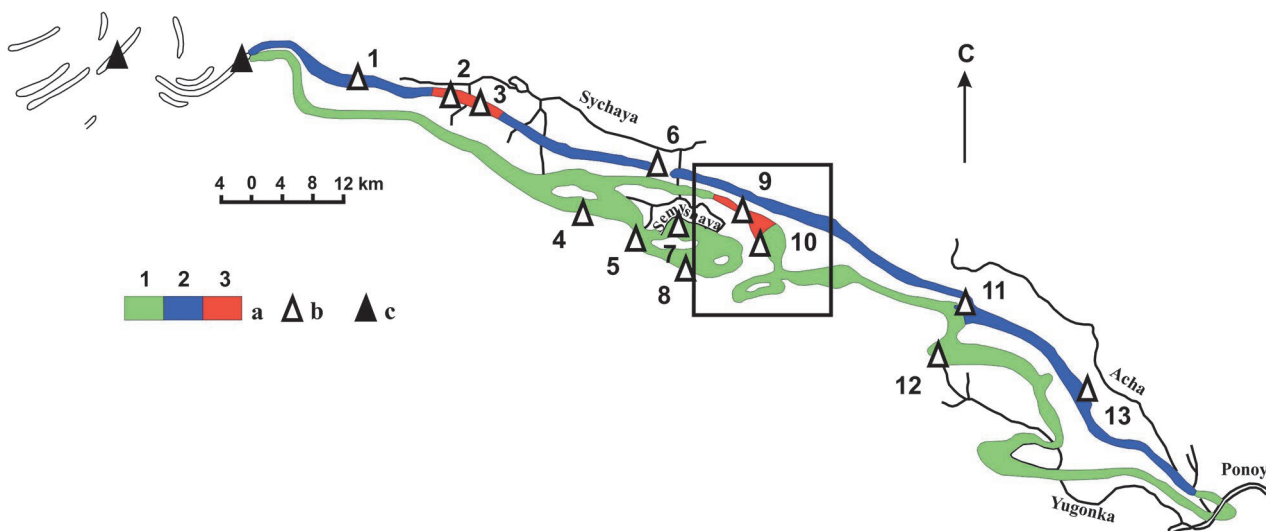


Рис. 8. Распределение главных месторождений кианита и силлиманита на Кейвах [по: Бельков, 1963]:

a – типы руд в кианитовых и ставролит-кианитовых сланцах: волокнисто-игльчатые (1), параморфические (2), крупно-конкреционные (3); b – месторождения кианита; c – месторождения силлиманита. Месторождения: 1 – Воргельурта, 2 – Тавурта, 3 – Тяпышманюк, 4 – Червурта, 5 – Большой Ров, 6 – Безымянная, 7 – Курпурта, 8 – Ягельурта, 9 – Шуурурта, 10 – Восточная Червурта, 11 – Кайпурта, 12 – Нусса, 13 – Манюк

Fig. 8. Distribution of the main deposits of kyanite and sillimanite on the Keivi [after Belkov, 1963]:

a – types of ores in kyanite and staurolite-kyanite schists: fibrous-needle (1), paramorphic (2), large-nodule (3); b – deposits of kyanite; c – deposits of sillimanite. Deposits: 1 – Vorgelvrta, 2 – Tavurta, 3 – Tyapshmanyuk, 4 – Chervurta, 5 – Bolshoi Rov, 6 – Bezmyahnaya, 7 – Kyrpurta, 8 – Yagelvrta, 9 – Shuururta, 10 – Vostochnaya Chervurta, 11 – Kaypurta, 12 – Nussa, 13 – Manyuk

сланцев и кианитовых кварцитов метаморфогенно-метасоматического типа месторождения Южная линза. Общая вытянутость этих залежей в северо-восточном – восточном направлении составляет до 900–950 м при мощности 80–100 м. Породы содержат 50–80 % кварца, 10–49 % кианита, 0–15 % рудных минералов; второстепенными минералами являются серицит и плагиоклаз. Как правило, линзообразные тела подобного типа находятся в ассоциации с игольчатыми кианитовыми рудами в пространственном положении

В Карело-Кольском регионе сосредоточено 99,4 % балансовых запасов высокоглиноземистого сырья РФ, в том числе 83 % – в восточной части Мурманской области в пределах Кейвской структурной зоны, где оценены и частично разведаны 23 месторождения кианитовых и 2 – силлиманитовых руд. Разведанные запасы кианита в Кейвах в 1,5 раза превышают мировые, а прогнозные ресурсы составляют около 2 млрд т. Содержание кианита в сланцах составляет в среднем 31,9 %.

Продуктивный пласт неоархейских кианитовых сланцев (древнейшее скопление глинозема осадочного происхождения) на территории Центральных и Восточных Кейв в широком смысле является единым «месторождением», а сами кианитовые сланцы представляют собой руду. Но продуктивный пласт на всем его протяжении неоднороден. В отдельных участках меняется его мощность, тектоническое строение, петрографический тип слагающих кианитовых сланцев, содержание в них кианита. Участки продуктивного пласта более благоприятные по своим геологическим условиям выделяются как собственно месторождения кианита, а в их пределах различные морфогенетические типы – как кианитовые руды. Рудное тело имеет пластовую форму, протяженные выходы на дневную поверхность и пологое падение на глубину, что создает хорошие перспективы для освоения открытой добычей.

Инновационные подходы к технологии обогащения кианитовых руд данного объекта с использованием поцикловой трехстадиальной флотации сульфидов, слюды и кианита привели к получению кианитового продукта с содержанием 60 % Al_2O_3 ; 37,1 % SiO_2 ; 0,27 % $Fe_2O_3 + FeO$; 1,4 % TiO_2 ; 0,05 % S. Основные пути использования конечных кианитовых продуктов Хизоваарского рудного поля – это огнеупоры, высокоточное литье (турбинные лопатки в авиационном моторостроении), санитарный и электрический фарфор, керамическая плитка, фильтры и т. п. Этот объект, представляющий собой промышленный минерал кианит,

наиболее перспективен и подготовлен к освоению по критериям доступности недр.

Минеральные краски. На Среднем Тимане природные пигменты (минеральные краски) сопровождают большинство месторождений и проявлений девонской латеритной формации коры выветривания и характеризуются железистым, глинисто-железистым, марганцево-железистым, иногда глинисто-железисто-марганцевым составом.

Мусковит. Благодаря планомерным поисково-оценочным и разведочным работам на мусковит Беломорская слюдоносная пегматитовая провинция по своему потенциалу становится второй минерально-сырьевой базой в СССР после Мамской провинции Восточной Сибири.

Выделяются пегматитовые районы – Ениский, Чупино-Лоухский и Кемско-Беломорский. В их пределах учтены 10 промышленных месторождений листовой слюды и многочисленные пегматитопроявления с мусковитом [Недра..., 2003; Малов, Щипцов, 2016]. Геологами научных институтов (КНЦ РАН и КарНЦ РАН, ВСЕГЕИ, ВИМС), вузов (ЛГИ, ЛГУ) и производственных геологоразведочных организаций ГРЭ и ГОКов («Карелслюда», «Ковдорслюда») в период 1946–1996 гг. были установлены основные факторы контроля слюдоносных (и керамических) пегматитов и критерии определения их ценности. Кроме того, в условиях сглаженного рельефа систематически осуществлялись открытые и подземные горные работы. Были пройдены десятки шахтных стволов. Эксплуатационные горные работы проводились ГОКом «Ковдорслюда» и «Карелслюда».

Коренное изменение конъюнктуры мирового слюдяного рынка в 90-х годах прошлого столетия привело к ликвидации инфраструктуры горнодобывающей промышленности и системы геологического обеспечения с необратимыми социальными последствиями, с пересмотром сырьевых стандартов [Малов, Щипцов, 2016] и, наконец, к переориентации промышленных интересов на дефицитную мелкочешуйчатую маложелезистую слюду и поискам ее рентабельных месторождений. В Северной Карелии проведена оценка месторождения мусковитовых кварцитов «Межозерное».

Соль. В Республике Коми соли представлены Сереговским и Верхнепечорским месторождениями и проявлениями верхнеордовикской галогенной формации Косью-Роговской впадины.

Верхнепечорское месторождение каменной и калийно-магниевых солей является естественным продолжением Соликамского

соленосного бассейна на север. Общая площадь Верхнепечорского соленосного бассейна составляет около 7900 км², из них 4500 км² (57 %) находится в пределах Республики Коми, а меньшая часть – на севере Пермской области. В разрезе соленосной толщи выделяются три зоны: подстилающей каменной соли, калийно-магниевых солей и покровной каменной соли. В зоне подстилающей каменной соли мощность солей колеблется от 9 до 192 м. Содержание галита в соляных прослоях составляет 75–89 %. Зона покровной каменной соли сложена мелко- и крупнозернистой каменной солью с маломощными прослоями и линзами засоленных глин. Мощность ее от 4 до 25 м (в среднем 20 м). Глубина залегания кровли горизонта покровной каменной соли колеблется от 122 (скв. 588) до 575 м. В 1960–1963 гг. были проведены поисково-оценочные работы по изучению толщи калийно-магниевых солей в западной части Верхнепечорского соленосного бассейна, включающей Якшинский участок (рис. 9) [Богацкий и др., 1977].

С 2010 г. ООО «ТрейдПромСервис» ведет работы по геологическому доизучению и вводу в эксплуатацию Якшинского участка. В результате перспективный участок переведен в ранг месторождения минеральных (калийных и калийно-магниевых) солей.

Верхнеордовикская галогенная формация выявлена в Косью-Роговской впадине Предуральяского краевого прогиба. Скважинами 3-, 5- и 6-Кочмес, 13-Ярвож на глубинах 5300–6250 м в отложениях верхнего ордовика обнаружены проявления галогенной формации мощностью более 1000 м. Породы формации представлены преимущественно доломитами и ангидритами с пластами (до 1 м) галита и аргиллита. Ввиду больших глубин залегания и низкого качества соли верхнеордовикская галогенная формация в настоящее время не представляет промышленного интереса.

В Онежской параметрической скважине, единственной из всех скважин, пробуренных на территории Онежской палеопротерозойской структуры по туломозерской свите, в интервале 2944,0–2750,8 м вскрыта каменная соль (преимущественно галит). Общая мощность соленосной толщи – 193,2 м [Морозов и др., 2010]. Породы имеют насыщенный красный цвет, который на отдельных интервалах переходит в грязно-серый со слабым розовым оттенком.

В галитовой толще кроме соли присутствуют ангидрит, магнезит, кварцит, которые преимущественно слагают залегающую выше улитинскую толщу, генетически родственную туломозерской свите и принадлежащую к единому

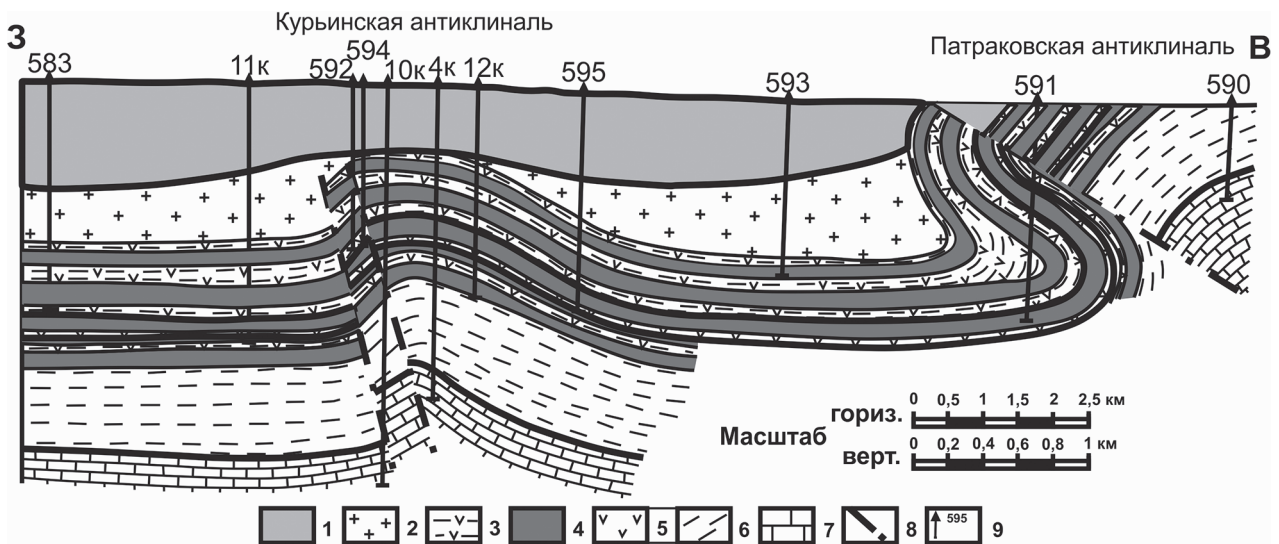


Рис. 9. Геологический разрез восточной части Верхнепечорского соленосного бассейна [по: Богацкий и др., 1977].

Верхняя пермь: 1 – песчаники, алевролиты, мергели. Кунгурский ярус: 2 – каменная соль, 3 – глинистые ангидриты и гипсы, 4 – песчаники, 5 – ангидрит. Артинский ярус: 6 – глины, мергели, аргиллиты, 7 – известняки, 8 – тектонические нарушения, 9 – скважина и ее номер

Fig. 9. Geological section of the eastern part of the Verkhnepechorsky salt-bearing basin [after Bogatsky et al., 1977].

Upper Perm: 1 – sandstones, siltstones, marls. Kungur stage: 2 – rock salt, 3 – clay anhydrites and gypsum, 4 – sandstones, 5 – anhydrite. Artinsky stage: 6 – clays, marls, mudstones, 7 – limestones, 8 – tectonic disturbances, 9 – drill hole and its number

тектоно-седиментационному циклу, то есть к ятулийскому надгоризонту [Крупеник и др., 2011]. По разрезу магнезит-галитовой толщи было проведено комплексное изучение состава магнезитов, солей, содержащихся в них примесей, а также изотопного состава углерода, кислорода, сульфатной серы и благородных газов. Возраст галитовой толщи, по данным Rb-Sr метода, 2216 ± 68 млн лет [Морозов и др., 2010] – это самые древние из известных на сегодняшний день соленосные отложения Земли. Соленосный интервал разреза на 70–75 % состоит из галита.

Сподумен. Литий является основным компонентом энергоемких батарей и аккумуляторов. Потенциальным важным потребителем лития являются энергетические установки, реализующие управляемую реакцию термоядерного синтеза. Во всем мире промышленные месторождения лития представлены редкометалльными пегматитами и рапами соляных озер [Быховский, Архипова, 2016].

Крупный пегматитовый пояс с минерализацией лития, цезия, тантала и бериллия (Охмыльское, Васин-Мыльк, Хребет Олений, Полмостундровское и Колмозерское месторождения) расположен в северо-восточной части Фенноскандинавского щита на Кольском полуострове.

К наиболее масштабным относится Колмозерское месторождение сподумена с попутными Nb, Ta и Вe. Оно является крупнейшим месторождением редкометалльных пегматитов России, на долю которого приходится 26 % запасов лития страны, и локализовано в метагаббро-анортозитах Патчемварекского массива в зоне сочленения региональных структур архейского возраста – Мурманского блока и зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья [Морозова, 2018]. U-Pb-изотопный возраст кристаллизации и связанной с ней минерализации колумбита (Mn) составляет 2315 ± 10 млн лет (СКВО = 0,34), что свидетельствует о формировании редкометалльных пегматитов на палеопротерозойской стадии развития региона, затронутой процессами, связанными с плюмовыми трещинами [Морозова и др., 2017].

Титан, тантал, ниобий, лейкоксен. Лейкоксен Ярегского и Пижемского месторождений на Тимане является уникальным природным минеральным сырьем с широкой сферой промышленного использования [Игнатьев, Бурцев, 1997; Власенко, 2010].

Ярегское месторождение титана принадлежит к месторождениям-гигантам. Вместе с крупным Водненским рудопроявлением, другими рудопроявлениями месторождение

образует крупный Ярегско-Водненский редкометалльно-титановый рудный узел [Махлаев, Голубева, 2006; Колокольцев, 2016].

Россыпные промышленные концентрации титановых минералов приурочены к комплексу среднедевонско-верхнедевонских отложений, залегающих на поверхности метаморфизованных пород верхнепротерозойского структурного этажа, сохранивших следы выветривания и размыва. Отложения чибьюской свиты вмещают все подсчитанные и утвержденные запасы титановых руд. В местной стратиграфической схеме отложения, вмещающие титановые россыпи, получили наименование III пласта. Его мощность составляет около 40 м. Россыпь нижней пачки включает все балансовые запасы титановой руды Ярегского месторождения. Общая протяженность россыпи прогнозируется в 55 км при ширине до 40 км. Протяженность разведанной части россыпи в северо-западном направлении 19,5 км, ширина до 9 км.

По мнению большинства исследователей, основным источником поступления титановых минералов в россыпи послужила глубоко проработанная кора химического выветривания метаморфических сланцев рифея [Игнатьев, Бурцев, 1997; Махлаев, 2008; Плякин, 2014 и др.].

Лейкоксенсодержащие песчаники Ярегского месторождения являются коллектором тяжелой, высоковязкой нефти, в связи с чем месторождение относится к группе уникальных, нефтетитановых. Добыча нефти на месторождении ведется с 1930-х годов. В 1961–1966 гг. на нефтешахте № 3 был создан опытный участок добычи нефтетитановых руд и построена опытная обогатительная фабрика небольшой производительности. В дальнейшем на основе результатов поисковых исследований по проектам института «Гиредмет» были построены опытно-промышленная обогатительная фабрика и опытная установка по производству титанового пигмента хлорным способом производительностью 1 тонна пигмента в сутки. Интенсивные технологические исследования продолжались вплоть до начала 1990-х годов.

В настоящее время на титаноносной площади Ярегского месторождения функционируют три предприятия: ООО «Лукойл-Коми» (ведется добыча руды), ЗАО «СИТТЕК» (ведется переработка руды) и ОАО «ЯрегаРуда» (планируется добыча и переработка руды).

Основные перспективы вовлечения Ярегского месторождения в крупномасштабное промышленное освоение связываются с организацией производства пигментного диоксида титана, включая получение нанодиоксида тита-

на и тонкодисперсного диоксида кремния – аэросила.

Также прорабатывается металлургическое направление – получение титановой лигатуры, титанового шлака, титановой губки и металлического титана, а также абразивных материалов – карбидов, карбосилицидов титана.

Флюорит. По преобладающим минеральным типам флюоритопоявлений, их структурной приуроченности, возрасту вмещающих пород, характеру минерализации, регионально-геологической обстановке выделяются две перспективные флюоритоносные зоны – Южнопайхойская и Амдерминская (Республика Коми) [Юшкин и др., 1982, 2007]. Южнопайхойская флюоритовая зона вытянута узкой полосой протяженностью 300 км вдоль юго-западного крыла Пайхой-Вайгач-Южноновоземельского мегантиклинория и объединяет многочисленные флюоритопоявления в карбонатных и кремнисто-карбонатных отложениях преимущественно нижнекаменноугольного возраста.

Буреданское месторождение площадью 9 км² располагается в юго-восточной части Южнопайхойской зоны. По результатам общих и детальных поисков, поисково-оценочных работ на участке обнаружено 46 рудных тел и блоков с 4 уровнями содержания флюорита: 5–10, 10–20, 20–38 % и выше.

Амдерминская рудная зона протяженностью 25 км с севера на юг от пос. Амдерма. Наиболее изучена ее северная часть, включающая собственно Амдерминское месторождение (гряды 1, 2 и 3), где в 1932–1951 годы проводилась добыча флюорита. Оруденение приурочено к контакту карбонатных отложений амдерминской свиты верхнего рифея и сланцево-карбонатных отложений нижнего ордовика.

В Приладожье флюорит связан с оловорудными проявлениями – Уксинское, Хопунваара, Хопунлампи, Люпикко и Юго-Западное Люпикко в Кительско-Питкярантском рудном районе. Оценка запасов и прогнозных ресурсов проведена в границах оловорудных тел, в состав которых кроме грейзенов входят скарны и пропилиты, содержащие бедную флюоритовую минерализацию. Апоскарновые метасоматиты и грейзены, несущие основной объем флюоритовой минерализации, имеют значительно больший размах по мощности, простиранию и падению. Естественно, при доизучении и переоценке запасов и ресурсов их потенциал возрастет в несколько раз.

Фосфориты. Перспективная Максаро-Пижемская площадь находится на Среднем Тимане в поле развития верхнеюрских фосфоритоносных отложений [Павлов, 1983]. Прогнозные

ресурсы желваковых фосфоритов оцениваются в 720 млн тонн. На этой площади выделен перспективный участок «Чуркино», где вскрыт фосфоритовый горизонт мощностью 1,8–2,3 м, с продуктивностью от 425 до 636 кг/м². Содержание P₂O₅ в фосфоритах фракции +5 мм составляет от 13,72 до 17,86 %. Прогнозные ресурсы (кат. P₁) фосфоритов участка оценены в 12–15 млн т. Своеобразное фосфат-бокситовое месторождение известно на Среднем Тимане в верховьях р. Цильмы (Заостровское).

Несколько перспективных площадей фосфоритовых руд высокого качества в терригенно-карбонатных породах ордовика выявлены на Полярном Урале. Проявления фосфоритов также установлены в породах верхней перми Западного Притиманья.

Цеолиты. Выделена Тиманская цеолитоносная провинция, сопоставимая с Уральской, Ленской и Тунгусской провинциями [Осташенко, 1984]. Цеолитоносные породы распространены в широком стратиграфическом интервале от девона до верхней перми (от п-ова Канин на севере до р. Вычегды на юге). В осадочных толщах отмечено значительное содержание анальцима. Проявление «Весляна» сегодня является одним из наиболее перспективных объектов для промышленного освоения. Результаты исследования сорбции различными цеолитовыми сорбентами показали, что анальцимсодержащие породы являются эффективными сорбентами тория, радия и урана, причем степень поглощения тория для всех образцов данных пород составляет 100 %.

Цеолиты группы гейландита – клиноптилолита выявлены в верхнеюрских отложениях при изучении Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев [Салдин и др., 2012].

Шунгиты. Шунгитовые породы – древние углеродсодержащие породы Карелии с возрастом порядка 2 млрд лет, не имеющие аналогов в геологической истории нашей Земли по форме проявлений и гигантским промышленным запасам. Они широко распространены в Заонежье. Прогнозные ресурсы – более 4 млрд тонн углерода, среди которых приоритет имеет Забогинское рудное поле площадью 240 км² с двумя действующими карьерами. В чем заключается уникальность этих пород? Они трактуются как природные углерод-минеральные композиты, содержащие шунгитовое вещество и широкий спектр микро- и наноминералов, образованных в палеопротерозое. Шунгитовое вещество представляет собой неграфитируемый фуллереноподобный углерод со структурой, подобной структуре стеклокристаллических материалов, где высокодисперсные

кристаллы распределены в некристаллической матрице [Калинин, Ковалевский, 2011].

В целом современный этап изучения шунгитовых пород Карелии и выявление перспектив их индустриального использования предполагается направить не столько на оценку запасов потенциальных месторождений и определение петрографических и структурно-химических особенностей шунгитовых пород, а скорее на выявление критериев и рекомендаций по использованию пород потенциальных месторождений в конкретных инновационных и наукоемких направлениях [Kovalevski, Shchiptsov, 2019].

Проведенные геолого-поисковые работы на промышленные типы шунгитовых пород позволят создать их классификацию, определить наиболее перспективные участки залегания шунгитовых пород под конкретные направления использования [Калинин и др., 2008]. По сути, осуществление планируемых работ приведет к эффективному вложению затраченных средств в стоимость будущих месторождений и развитие инновационных подходов в использовании уникального углеродсодержащего сырья России [Kovalevski, Shchiptsov, 2019].

Заключение

Для действующих ГОКов положение с началом перестройки в СССР усугубилось истощением приповерхностных, наиболее рентабельных частей крупных месторождений после многих десятилетий эксплуатации (начиная с 1930–1950 гг.). Таким образом, изменение условий хозяйствования крайне негативно отразилось на региональной экономике. Например, комбинат «Апатит» достиг максимальной производительности в 54–61 млн т по руде и 17–20 млн т по концентрату в период 1985–1990 г., выработав в 1988 г. рекордные 20 млн т концентрата. А в следующую пятилетку показатели упали до 20–24 млн т по руде и 6–8 млн т концентрата [Григорьев и др., 1999]. Новые рыночные условия наиболее негативно отразились на «Севредмете» (Ловозерском ГОКе), ПО «Ковдорслюда», ГОК «Карелслюда», ПО «Карелстройматериалы» и др.

Промышленные минералы могут серьезно способствовать развитию отечественного горного производства на севере европейской части Российской Федерации и внедрению новых технологий. Должны разрабатываться программы комплексной оценки минерально-сырьевого потенциала, которые в свою очередь повлияют на формирование новых минерально-сырьевых потоков и развитие транспортных

коридоров на экономическом пространстве Севера.

Добыча и переработка полезных ископаемых составляет основу экономики всех наиболее благополучных территорий Российской Федерации. В окраинных регионах добывающие предприятия являются градообразующими и обеспечивают до 75 % рабочих мест. Принципы развития МСБ севера европейской части России должны быть построены на основе учета всех полезных ископаемых, включая и те, управление которыми полностью лежит в компетенции федеральной власти.

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

Литература

Арзамасцев А. А., Арзамасцева Л. В., Беляцкий Б. В. Щелочной вулканизм инициального этапа палеозойской тектоно-магматической активизации северо-востока Фенноскандии: геохимические особенности и петрологические следствия // Петрология. 1998. Т. 6, № 3. С. 316–336.

Афанасьев Б. В. Минеральные ресурсы щелочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова. СПб.: Роза ветров, 2011. 224 с.

Баянова Т. Б., Кирнарский Ю. М., Левкович Н. В. U-Pb изучение бадделеитов из пород Ковдорского массива // ДАН. 1997. Т. 356, № 4. С. 509–511.

Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.; Л.: АН СССР, 1963. 136 с.

Беляев В. В. Каолины России: состояние и перспективы сырьевой базы. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2003. 60 с.

Беляев В. В., Швецова И. В., Яцкевич Б. А. Девонские бокситы Тимана. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1999. 187 с.

Богацкий В. И., Иванов А. В., Агулов С. Н. Условия соленакопления в Верхнепечорском соленосном бассейне Коми АССР // Проблемы осадконакопления. Новосибирск: Наука, 1977. Т. 2. С. 138–141.

Богачев А. И., Зак С. И., Сафронова Г. П., Инина К. А. Геология и петрология Елетьозерского массива габброидных пород Карелии (геология, петрография, петрология, металлогения). М.; Л.: Наука, 1963. 159 с.

Борисов П. А. Керамические пегматиты СССР и их заменители. М.: АН СССР, 1954. 270 с.

Быховский Л. З., Архипова Н. А. Редкометалльное сырье России: перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы // Разведка и охрана недр. 2016. № 11. С. 26–30.

Власенко В. В. Особенности и перспективы совместной разработки высоковязкой нефти и титановой руды на площадях их совместного залегания

в границах Ярегского нефтетитанового месторождения // Проблемы разработки и эксплуатации месторождений высоковязких нефтей и битумов: Матер. межрег. науч.-техн. конф. Ухта, 2010. С. 24–35.

Войтеховский Ю. Л. Кианитовые сланцы Б. Кейв – стратегический ресурс России // Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2010. С. 55–63.

Герасимов Н. Н. Добыча и переработка баритового сырья // Горный журнал. 2007. № 3. С. 75–79.

Гинзбург И. И. Слюда, ее свойства, применение и распространение в России. Петроград: 1-я Гос. тип., 1919. 128 с.

Годовой отчет ПАО «Акрон» за 2019 г. (проект). 102 с. URL: <https://www.acron.ru/upload/iblock/419/GO-Akron-20119-RUS.pdf> (дата обращения: 30.05.2020).

Голдин Б. А., Дудкин Б. Н., Ключкова И. В. Северо-Уральские аповулканы – сырье для производства фарфора // Стекло и керамика. 1999. № 1. С. 7–9.

Голубев Ю. К., Прусакова Н. А. Оценка перспектив коренной алмазности Архангельской области с анализом текущего состояния прогнозных ресурсов алмазов // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: Тезисы докл. VIII Межд. науч.-практ. конф. М., 2018. С. 47–48.

Григорьев А. В., Свинин В. С., Погребняк О. С. Оптимальное развитие рудной базы – гарантия долголетия предприятия и стабильности его работы // Горный журнал. 1999. № 9. С. 9–13.

Гришин Н. Н., Крашенинников О. Н., Белогурова О. А., Бастрыгина С. В. Огнеупоры и жаростойкие бетоны из сырья Кольского полуострова // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 206–217.

Дудкин О. Б. Технологическая минералогия комплексного сырья на примере месторождений щелочных плутонов. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. 134 с.

Евстропов А. А., Бурьян Ю. И., Кухарь Н. С., Серых Н. М., Цюцкий С. С. Жильный кварц Урала в науке и технике. Геология основных месторождений кварцевого сырья. М.: Недра, 1995. 207 с.

Едемский М. Б. Геология и полезные ископаемые северного края (краткий очерк). Архангельск: Севкрайгаз, 1934. 117 с.

Жиров Д. В., Зозуля Д. Р., Козлов Н. Е. Сырьевая база твердых полезных ископаемых – основа сбалансированного социально-экономического развития Евро-Арктической зоны Российской Федерации // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2019. № 1(63). С. 36–49. doi: 10.25702/KSC.2220-802X.1.2019.63.36-49

Жиров Д. В., Мелихова Г. С., Рыбин В. В., Сохрев В. А., Климов С. А. Особенности инженерно-геологического изучения массивов скальных пород в целях проектирования глубоких карьеров на примере Ковдорского месторождения магнетитовых и апатитовых руд. Часть 1 // Вестник КНЦ РАН. 2016. № 1. С. 15–25.

Иванова Т. Н. Апатитовые месторождения Хибинских тундр. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 288 с.

Иванова Т. Н., Дудкин О. Б., Козырева Л. В., Поляков К. И. Ййолит-уртиты Хибинского массива. Л.: Наука, 1970. 180 с.

Игнатьев В. Д., Бурцев И. Н. Лейкоксен Тимана: минералогия и проблемы технологии. СПб.: Наука, 1997. 213 с.

Иевлев А. А. Проекты модернизации производства соли на Сереговском месторождении (Республика Коми) и деятельность Сереговского сользавода в 1960-х годах // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 8. С. 21–25.

Калинин Е. П. Бариты Республики Коми: современное состояние и перспективы // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 3. С. 3–5.

Калинин Ю. К., Калинин А. И., Скоробогатов Г. А. Шунгиты Карелии – для новых стройматериалов, в химическом синтезе, газоочистке, водоподготовке и медицине. СПб.: УНЦХ СПбГУ, ВВМ, 2008. 219 с.

Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Шунгитовые породы – 50 лет научно-технологических исследований в Институте геологии // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 172–179.

Каменев Е. А. Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа (методические основы). Л.: Недра, 1987. 188 с.

Колокольцев В. Г. Новое о титаносности Ярегского рудного узла (Южный Тиман) // Региональная геология и металлогения. 2016. № 67. С. 107–117.

Коровкин В. А., Турылева Л. В., Руденко Д. Г., Журавлев В. А., Ключникова Г. Н. Недра Северо-Запада Российской Федерации. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 520 с.

Крупеник В. А., Ахмедов А. М., Свешников К. Ю. Строение разреза Онежской структуры по данным бурения ОПС // Онежская палеопротерозойская структура. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 172–189.

Кузнецов С. К. Жильный кварц Приполярного Урала. СПб.: Наука, 1998. 203 с.

Кузнецов С. К., Бурцев И. Н., Лютоев В. П. Высококачественное сырье Тимано-Североуральского региона // Горный журнал. 2013. № 9. С. 48–53.

Ладожская протерозойская структура / Ред. Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 435 с.

Леонтьев А. Г., Михайлов В. П., Бискэ Н. С. Графит // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. С. 40–47.

Лукичев С. В., Жиров Д. В., Чуркин О. Е. Состояние и перспективы минерально-сырьевого комплекса Мурманской области // Горный журнал. 2019. № 6(2263). С. 19–24. doi: 10.17580/gzh.2019.06.01

Малов Н. Д., Щипцов В. В. Кризис слюдяной отрасли Беломорской пегматитовой провинции и перспективы его преодоления // Записки Горного института. 2016. Т. 218. С. 172–178.

Махлаев Л. В. О природе лейкоксена в Ярегском нефтетитановом месторождении (в связи с оценкой перспектив других титановых палероссыпей Притиманья) // Литосфера. 2008. № 5. С. 117–121.

Махлаев Л. В., Голубева И. И. Ильменитсодержащие метапелиты как важнейший источник формирования гигантских и сверхгигантских титановых

россыпей // Титаноциркониевые месторождения России и перспективы их освоения: Матер. всерос. совещания. М., 2006. С. 39–42.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. 356 с.

Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых Арктической зоны России / Гл. ред. Г. А. Машковцев. М.: ВИМС, 2018. 198 с.

Морозов А. Ф., Хахаев Б. Н., Петров О. В., Горбачев В. И., Тарханов Г. В., Цветков Л. Д., Эринчек Ю. М., Ахмедов А. М., Крупеник В. А., Свешникова К. Ю. Толща каменных солей в разрезе палеопротерозоя Онежского прогиба Карелии (по данным Онежской параметрической скважины) // ДАН. 2010. Т. 435, № 2. С. 230–233.

Морозова Л. Н. Колмозерское литиевое месторождение редкометалльных пегматитов: новые данные по редкоэлементному составу (Кольский полуостров) // Литосфера. 2018. Т. 18, № 1. С. 82–98. doi: 10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098

Морозова Л. Н., Баянова Т. Б., Базай А. В., Лялина Л. М., Серов П. А., Борисенко Е. С., Кунакузин Е. Л. Редкометалльные пегматиты Колмозерского литиевого месторождения арктического региона Балтийского щита: новые геохронологические данные // Вестник КНЦ РАН. 2017. № 1(9). С. 43–52.

Мультимедийный справочник по минерально-сырьевым ресурсам и горнопромышленному комплексу Мурманской области: Цифровой информационный ресурс / Под ред. Ф. П. Митрофанова, А. В. Лебедева; отв. рук. Д. В. Жиров; отв. исп. С. В. Жабин, Н. И. Бичук, Н. О. Сорохтин, В. Ю. Калачев, С. А. Климов; сост.: Б. В. Афанасьев, Б. В. Гавриленко, В. И. Пожиленко и др. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2001. Ч. 1. Геология и минерально-сырьевые ресурсы – 460 мб; ч. 2. Горнопромышленный комплекс – 680 мб.

Небокситовое алюминиевое сырье России / Отв. ред. В. А. Коротеев. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 229 с.

Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В., Поленов Ю. А., Савичев А. Н., Нерадовский Ю. Н., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Гришин Н. Н., Белогурова О. А., Гершенков А. Ш., Коротеев Д. В. Морфогенетические типы и технология обогащения кианитовых руд. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 310 с.

Осташенко Б. А. Проблема цеолитов Тимана // Научные рекомендации народному хозяйству. Вып. 49. Сыктывкар, 1984. 20 с.

Павлов А. М. Изучение закономерностей размещения фосфоритов на территории деятельности ПГО «Полярноуралгеология». Ухта, 1983. (Комигеолфонд. Инв. № 9988).

Петрик А. И., Быховец А. Н., Сохарев В. А., Перин В. Н., Сердюков А. Л. Модернизация минерально-сырьевой базы в стратегии долгосрочного развития Ковдорского ГОКа // Горный журнал. 2012. № 10. С. 12–17.

Плякин А. М. Россыпи Тимана. История изучения месторождения. Аннотированная хронобиблиография: уч. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Ухта: УГТУ, 2014. 168 с.

Плякин А. М., Беляев В. В. Твердые полезные ископаемые Тимана: уч. пособие. Ухта: УГТУ, 2004. 109 с.

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

Родионов Н. В., Лепехина Е. Н., Антонов А. В., Капитонов И. Н., Балашова Ю. С., Беляцкий Б. В., Арзамасцев А. А., Сергеев С. А. U-Pb-II возраст титанита и время образования апатит-нефелиновой минерализации Хибинского и Ловозерского щелочных массивов // Геология и геофизика. 2018. Т. 59, № 8. С. 1195–1210. doi: 10.15372/GiG20180805

Салдин В. А., Бурцев И. Н., Симакова Ю. С., Филиппов В. Н. Цеолиты в верхнеюрских породах Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев (Яренгский сланценосный район) // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах: Матер. Рос. совещ. с междунар. участием. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2012. С. 112–116.

Сняtkова О. Л., Пронягин Н. И. Новые данные о структуре апатит-нефелиновых месторождений // Разведка и охрана недр. 1983. № 7. С. 10–14.

Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 238 с.

Топорков В. Г. Оценка перспектив центральных районов Республики Коми на нетрадиционные и редкие виды неметаллических полезных ископаемых (битумы, битуминозные породы, природные пигменты, глаукониты, облицовочные, поделочные и декоративные камни). Ухта, 1996. (Комигеолфонд. Инв. № 10998).

Удоратина О. В., Куликова К. В., Варламов Д. А., Макеев Б. А., Исаенко С. И., Шевчук С. С. Калиевый полевой шпат сиенитов (Средний Тиман) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 10. С. 11–16.

Устинов В. Н., Загайный А. К., Смит К. Б., Ушков В. В., Лазько Е. Е., Лукьянова Л. И., Лобкова Л. П. Раннепротерозойские алмазоносные кимберлиты Карелии и особенности их формирования // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 9. С. 963–977.

Ушков В. В., Загайный А. К., Смит К. Б., Ушков В. В., Лазько Е. Е., Лукьянова Л. И., Лобкова Л. П. Кимозерское проявление кимберлитов в Онежской структуре // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. № 3. С. 94–98.

Щипцов В. В. Значение индустриальных минералов Карелии в областях промышленного производства // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. № 3. С. 126–130.

Щипцов В. В. Обзор и оценка индустриальных минералов Республики Карелия // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47, № 1. С. 3–15.

Юшкин Н. П., Кунц А. Ф., Таранина Т. И. Бариты Урало-Пайхойской провинции. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 338 с.

Юшкин Н. П., Кунц А. Ф., Тимонин Н. И. Минералогия Пай-Хоя. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 290 с.

Юшкин Н. П., Ромашкин Ю. Н., Маркова Г. А. Урало-Новоземельская флюоритоносная провинция. Л.: Наука, 1982. 218 с.

Boström R. Litum: esiintymät, tuotanto ja markkinat // Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskiivet / Toim. I. Haapala. Helsinki: Yliopistopaino, 1988. P. 133–143.

Heino J., Ivanova L. V., Burtsev I. N., Drivenes E. A., Isaeva E. D., Shchiptsov V. V. Mineral resources and mining // Encyclopedia of the Barents region / Ed. M.-O. Olsson. Oslo: Fax Forlag A/S, 2016. Vol. I, A-M. P. 482–494.

Industrial minerals: deposits & new developments in Fennoscandia: Proceed. Int. Conf. / Eds. V. V. Shchiptsov, L. S. Scamnikskaya, L. A. Danilevskaya. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 162 p.

Kovalevsky V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential // ICAM 2019 / S. Glagolev (ed.). SPEES, 2019. P. 201–204.

Kramm U., Kogarko L. N. Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero apatitic centers, Kola Alkaline Province, Russia // Lithos. 1994. Vol. 32. P. 33–44.

Kramm U., Kogarko L. N., Kononova V. A., Vartiainen H. The Kola Alkaline Province of the CIS and Finland: Precise Rb-Sr ages define 380–360 age range for all magmatism // Lithos. 1991. Vol. 30. P. 33–44.

Lehtonen M., O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from

garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites // Bull. Geol. Society of Finland. 2009. Vol. 81. P. 79–102.

Precambrian industrial minerals of Karelia / Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: Poliprint Ltd, 1993. 84 p.

Putinceva E. V., Spiridonov E. M. Features of the mineral composition of the oldest Russia's kimberlites and metakimberlites of Kimozero (Karelia) and the reasons for their // Геология, магматизм и металлогения Центра Азии. 2018: Рудно-магматические системы Сангилены (щелочные интрузивы, карбонатиты): Сб. трудов конф. Кызыл: ТУВИКОПР СО РАН, 2018. С. 94–99.

Zeisev A., Bell K. Sr and Nd isotope data of dolomite as indicators of source, and relations of phosphates and carbonatites from Kovdor massif, Kola peninsula, Russia // Contr. Mineral Petrol. 1995. No. 123. P. 324–325.

Zhirov D. Controlling structures of the Palaeozoic Plume in the Kola Alkaline Large Igneous Province // SGEM-2016: Conf. Proceed. Book 1: Sci. and Tech. in Geol., Exploration and Mining. Vol. 1. Hydrogeol., Engineering Geol. and Geotechnics. Albena (Bulgaria), 2016. P. 133–140.

Поступила в редакцию 04.06.2020

References

Arzamastsev A. A., Arzamastseva L. V., Belyatskii B. V. Alkaline volcanism of the initial phase of Paleozoic tectono-magmatic reactivation in northeastern Fennoscandia: Geochemical features and petrologic consequences. *Petrology*. 1998. Vol. 6, no. 3. P. 293–312.

Afanas'ev B. V. Mineral'nye resursy shchelochno-ul'traosnovnykh massivov Kol'skogo poluostrova [Mineral resources of alkaline-ultrabasic massifs of the Kola Peninsula]. St. Petersburg: Roza vetrov, 2011. 224 p.

Bayanova T. B., Kirnarskii Yu. M., Levkovich N. V. U-Pb izuchenie baddeleitov iz porod Kovdorskogo massiva [U-Pb study of baddeleyites from the Kovdor massif rocks]. *DAN [Dokl. Acad. Sci.]*. 1997. Vol. 56, no. 4. P. 509–511.

Bel'kov I. V. Kianitovye slantsy svity Keiv [Kyanite schists of the Keiv formation]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1963. 136 p.

Belyaev V. V. Kaoliny Rossii: sostoyanie i perspektivy syr'evoi bazy [Russian kaolins: state and prospects of the raw material base]. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN, 2003. 60 p.

Belyaev V. V., Shvetsova I. V., Yatskevich B. A. Devonskie boksity Timana [The Devon bauxites from Timan]. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN, 1999. 187 p.

Bogatskii V. I., Ivanov A. V., Agulov S. N. Usloviya solenakopleniya v Verkhnepechorskom solenosnom basseine Komi ASSR [Salt accumulation conditions in the Verkhnepechorsky salt-bearing basin of the Komi ASSR]. *Probl. osadkonakopleniya [Sedimentation Probl.]*. Novosibirsk: Nauka, 1977. Vol. 2. P. 138–141.

Bogachev A. I., Zak S. I., Safronova G. P., Inina K. A. Geologiya i petrologiya Elet'ozerskogo massiva gabroidnykh porod Karelii (geologiya, petrografiya, petrologiya, metallogeniya) [Geology and petrology

of the Yeletozersky gabbroid rocks massif of Karelia (geology, petrography, petrology, metallogeny)]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1963. 159 p.

Borisov P. A. Keramicheskie pegmatity SSSR i ikh zameniteli [Ceramic pegmatites of the USSR and their substitutes]. Moscow: AN SSSR, 1954. 270 p.

Bykhovskii L. Z., Arkhipova N. A. Redkometall'noe syr'e Rossii: perspektivy osvoeniya i razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy [Rare metal raw materials in Russia: prospects for exploration and development of mineral resources]. *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and Protection of Min. Resources]*. 2016. No. 11. P. 26–30.

Dudkin O. B. Tekhnologicheskaya mineralogiya kompleksnogo syr'ya na primere mestorozhdenii shchelochnykh plutonov [Technological mineralogy of complex raw materials on the example of alkaline pluton deposits]. Apatity: KNTs RAN, 1996. 134 p.

Evstropov A. A., Bur'yan Yu. I., Kukhar' N. S., Serykh N. M., Tsyutskii S. S. Zhil'nyi kvarts Urala v nauke i tekhnike. Geologiya osnovnykh mestorozhdenii kvartsevogo syr'ya [Vein quartz of the Urals in science and technology. Geology of the main deposits of quartz raw materials]. Moscow: Nedra, 1995. 207 p.

Edemskii M. B. Geologiya i poleznye iskopaemye severnogo kraya (kratkii ocherk) [Geology and minerals of the northern region (a brief outline)]. Arkhangel'sk: Sevkraigaz, 1934. 117 p.

Gerasimov N. N. Dobycha i pererabotka baritovogo syr'ya [Mining and processing of barite raw materials]. *Gorn. zhurn. [Mining J.]*. 2007. No. 3. P. 75–79.

Ginzburg I. I. Slyuda, ee svoystva, primeneniye i rasprostraneniye v Rossii [Mica, its properties, use, and distribution in Russia]. Petrograd: 1-ya Gos. tip., 1919. 128 p.

Godovoi otchet PAO "Akron" za 2019 g. (proekt) [Acron annual report for 2019 (draft)]. 102 p. URS:

<https://www.acron.ru/upload/iblock/419/GO-Akron-20119-RUS.pdf> (accessed: 30.05.2020).

Goldin B. A., Dudkin B. N., Klochkova I. V. Severo-Ural'skie apovulkanity – syr'e dlya proizvodstva farfora [North-Ural apovolcanites – raw materials for porcelain production]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics]. 1999. No. 1. P. 7–9.

Golubev Yu. K., Prusakova N. A. Otsenka perspektiv korennoi alamazonosnosti Arkhangel'skoi oblasti s analizom tekushchego sostoyaniya prognoznykh resursov almazov [Assessment of the prospects of the primary diamond potential of the Arkhangel'sk Region with an analysis of the current state of the forecasted diamond resources]. *Nauchno-metod. osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov*: Tez. dokl. VIII Mezhd. nauch.-prakt. konf. [Sci. and method. foundations of forecasting, prospecting, evaluation of diamond deposits, precious and non-ferrous metals: Abs. VIII int. sci. pract. conf.]. Moscow, 2018. P. 47–48.

Grigor'ev A. V., Svinin B. C., Pogrebnyak O. S. Optimal'noe razvitiye rudnoi bazy – garantiya dolgoletiya predpriyatiya i stabil'nosti ego raboty [Optimal development of the ore base guarantee of longevity of the enterprise and stability of its operation]. *Gorn. zhurn.* [Mining J.]. 1999. No. 9. P. 9–13.

Grishin N. N., Krasheninnikov O. N., Belogurova O. A., Bastrygina S. V. Ogneupory i zharostoikie betony iz syr'ya Kol'skogo poluostrova [Refractories and refractory concrete made of raw materials from the Kola Peninsula]. *Formirovanie osnov sovr. strategii prirodopol'zovaniya v Evro-Arkticheskom regione* [Formation of the foundations of a modern nat. management strategy in the Euro-Arctic region]. Apatity: KSC RAS, 2005. P. 206–217.

Ivanova T. N. Apatitovye mestorozhdeniya Khibinskikh gor [Apatite deposits of the Khibiny tundra]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1963. 288 p.

Ivanova T. N., Dudkin O. B., Kozyreva L. V., Polyakov K. I. Iiolit-urtity Khibinskogo massiva [Iyolite-urtites of the Khibiny massif]. Leningrad: Nauka, 1970. 180 p.

Ignat'ev V. D., Burtsev I. N. Leikoksen Timana: mineralogiya i problemy tekhnologii [Timan leucosen: mineralogy and technology problems]. St. Petersburg: Nauka, 1997. 213 p.

Ievlev A. A. Proekty modernizatsii proizvodstva soli na Seregovskom mestorozhdenii (Respublika Komi) i deyatel'nost' Seregovskogo sol'zavoda v 1960-kh godakh [Salt production modernization projects at the Seregovskoe deposit (Komi Republic) and the activities of the Seregovsky salt plant in the 1960s]. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN* [Vestnik IG Komi SC UrB RAS]. 2011. No. 8. P. 21–25.

Kalinin E. P. Barity Respubliki Komi: sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Barites of the Komi Republic: current status and prospects]. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN* [Vestnik IG Komi SC UrB RAS]. 2010. No. 3. P. 3–5.

Kalinin Yu. K., Kalinin A. I., Skorobogatov G. A. Shungity Karelii – dlya novykh stroimaterialov, v khimicheskoy sinteze, gazoostoyke, vodopodgotovke i meditsine [Shungites of Karelia – for new building materials, in chemical synthesis, gas purification, water treatment, and medicine]. St. Petersburg: UCCH SPbSU, VVM, 2008. 219 p.

Kalinin Yu. K., Kovalevskii V. V. Shungitovye porody – 50 let nauchno-tekhnologicheskikh issledovaniy v Institute geologii [Shungite rocks – 50 years of scientific and technological research at the Institute of Geology]. *Geol. Karelii ot arkheya do nashikh dnei* [Geol. of Karelia from the Archean to the present]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 172–179.

Kamenev E. A. Poiski, razvedka i geologo-promyshlennaya otsenka apatitovykh mestorozhdenii khibinskogo tipa (metodicheskie osnovy) [Search, exploration, and geological and industrial assessment of apatite deposits of the Khibiny type (methodological bases)]. Leningrad: Nedra, 1987. 188 p.

Kolokol'tsev V. G. Novoe o titanonosnosti Yaregskogo rudnogo uzla (Yuzhnyi Timan) [New data on the titaniferous content of the Yarega ore cluster (South Timan)]. *Regional'naya geol. i metallogeniya* [Regional Geol. Metallogeny]. 2016. No. 67. P. 107–117.

Krupenik V. A., Akhmedov A. M., Sveshnikov K. Yu. Stroenie razreza Onezhskoi struktury po dannym bureniya OPS [Sectional structure of the Onega structure according to drilling data from the POS]. *Onezhskaya paleoproterozoiskaya struktura* [Paleoproterozoic Onega structure]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 172–189.

Kuznetsov S. K. Zhil'nyi kvarts Pripolyarnogo Urala [Vein quartz of the Subpolar Urals]. St. Petersburg: Nauka, 1998. 203 p.

Kuznetsov S. K., Burtsev I. N., Lyutov V. P. Vysokokachestvennoe syr'e Timano-Severoural'skogo regiona [High quality quartz raw materials of Timan North Ural region]. *Gorn. zhurn.* [Mining J.]. 2013. No. 9. P. 48–53.

Ladozhskaya proterozoiskaya struktura [Ladoga Proterozoic structure]. Ed. N. V. Sharov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020. 435 p.

Leont'ev A. G., Mikhailov V. P., Biske N. S. Grafit [Graphite]. *Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya* [Min. raw materials base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. B. 2. P. 40–47.

Lukichev S. V., Zhiron D. V., Churkin O. E. Sostoyanie i perspektivy mineral'no-syr'evogo kompleksa Murmanskoi oblasti [State and prospects of the mineral resource complex of the Murmansk Region]. *Gorn. zhurn.* [Mining J.]. 2019. No. 6(2263). P. 19–24. doi: 10.17580/gzh.2019.06.01

Malov N. D., Shchiptsov V. V. Krizis slyudyanoi otrasli Belomorskoj pegmatitovoi provintsii i perspektiva ego preodoleniya [Crisis of the mica industry of the White Sea pegmatite province and the prospect of overcoming it]. *Zapiski Gornogo inst.* [Proceed. Mining Inst.]. 2016. Vol. 218. P. 172–178.

Makhlaev L. V. O prirode leikoksena v Yaregskom neftititanovom mestorozhdenii (v svyazi s otsenkoi perspektiv drugikh titanovykh palerossypei Pritiman'ya) [On the nature of leucosene in the Yaregskoye titanium deposit (in connection with the assessment of the prospects of other titanium paleo placers of the Timan)]. *Litosfera* [Lithosphere]. 2008. No. 5. P. 117–121.

Makhlaev L. V., Golubeva I. I. Il'menitsoderzhashchie metapelity kak vazhneishii istochnik formirovaniya gigant'skikh i sverkhgigant'skikh titanovykh rossypei [Ilmenite-containing metapelites as the most important source of formation of giant and super-giant titanium placers]. *Titanotsirkonievye mestorozhdeniya Rossii i*

perspektivy ikh osvoeniya: Mater. vseros. soveshch. [Titanocirconium deposits of Russia and prospects for their development: Proceed. All-Russ. meeting]. Moscow, 2006. P. 39–42.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. B. 2. 356 p.

Mineral'no-syr'evaya baza tverdykh poleznykh isko-paemykh Arkticheskoi zony Rossii [Mineral raw materials base of solid minerals of the Arctic zone of Russia]. Ed. G. A. Mashkovtsev. Moscow: VIMS, 2018. 198 p.

Morozov A. F., Khakhaev B. N., Petrov O. V., Gorbachev V. I., Tarkhanov G. V., Tsvetkov L. D., Erinchek Yu. M., Akhmedov A. M., Krupenik V. A., Sveshnikova K. Yu. Rock salt mass in the Paleoproterozoic sequence of the Onega trough in Karelia (from the Onega parametric well data). *Dokl. Earth Sci.* 2010. Vol. 435, no. 1. P. 1483–1486.

Morozova L. N. Kolmozerskoe litievoe mestorozhdenie redkometall'nykh pegmatitov: novye dannye po redkoelementnomu sostavu (Kol'skii poluostrov) [Kolmozersky lithium deposit of rare-metal pegmatites: new data on the rare-element composition (Kola Peninsula)]. *Litosfera* [Lithosphere]. 2018. Vol. 18, no. 1. P. 82–98. doi: 10.24930/1681-9004-2018-18-1-082-098

Morozova L. N., Bayanova T. B., Bazai A. V., Lyalina L. M., Serov P. A., Borisenko E. S., Kunakkuzin E. L. Redkometall'nye pegmatity Kolmozerskogo litievogo mestorozhdeniya arkticheskogo regiona Baltiiskogo shchita: novye geokhronologicheskie dannye [Rare metal pegmatites of the Kolmozero lithium deposit of the Arctic region of the Baltic Shield: new geochronological data]. *Vestnik KNTs RAN* [Bull. KSC RAS]. 2017. No. 1(9). P. 43–52.

Multimediyniy spravochnik po mineral'no-syr'evym resursam i gornopromyshlennomu kompleksu Murmanskoi oblasti: Tsifrovoi informatsionnyi resurs [Multimedia reference book on mineral resources and mining complex of the Murmansk Region: Digital information resource]. Eds F. P. Mitrofanov, A. V. Lebedev; ed. head D. V. Zhiron; ed. Executive Director S. V. Zhabin, N. I. Bichuk, N. O. Sorokhtin, V. Yu. Kalachev, S. A. Klimov; comp.: B. V. Afanasiev, B. V. Gavrilenko, V. I. Serzhenko, etc. Apatity: GI KSC RAS, 2001. Part 1: Geol. and mineral resources – 460 MB; part 2: Mining and Mining complex – 680 MB.

Neboksitovoe alyuminievoe syr'e Rossii [Non-bauxite aluminum raw materials of Russia]. Ed. V. A. Koroteev. Ekaterinburg: IGG UrB RAN, 2011. 228 p.

Korovkin V. A., Turyleva L. V., Rudenko D. G., Zhuravlev V. A., Klyuchnikova G. N. Nedra Severo-Zapada Rossiiskoi Federatsii [The bowels of the North-West of the Russian Federation]. St. Petersburg: VSEGEI, 2003. 520 p.

Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Voitekhovskii Yu. L., Shchiptsov V. V., Polenov Yu. A., Savichev A. N., Neradovskii Yu. N., Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P., Grishin N. N., Belogurova O. A., Gershenkop A. Sh., Koroteev D. V. Morfogeneticheskie tipy i tekhnologiya obogashcheniya kyanitovykh rud [Morphogenetic types and technology of kyanite ores enrichment]. Ekaterinburg: UrB RAS, 2013. 310 p.

Pavlov A. M. Izuchenie zakonomernostei razmeshcheniya fosforitov na territorii deyatel'nosti PGO Pol'yarnouralgeologiya [The study of the patterns of phosphate distribution in the activity area of the Polarnouralgeologiya mining production association]. Ukhta, 1983. (Komigeolfond. Inv. № 9988)

Petrik A. I., Bykhovets A. N., Sokhareva V. A., Perein V. N., Serdyukov A. L. Modernizatsiya mineral'no-syr'evoi bazy v strategii dolgosrochnogo razvitiya Kovdorskogo GOKa [Modernization of the mineral resource base in the strategy of long-term development of the Kovdorsky GOK]. *Gorn. zhurn.* [Mining J.]. 2012. No. 10. P. 12–17.

Plyakin A. M. Rossypi Timana. Istoriya izucheniya mestorozhdeniya. Annotirovannaya khronobibliografiya: Ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. i dop. [Timan placers. Field study history. Annotated chronobibliography: a textbook. 2nd ed. rev. suppl.]. Ukhta: UGTU, 2014. 168 p.

Plyakin A. M., Belyaev V. V. Tverdye poleznye isko-paemye Timana: Ucheb. posobie [Timan solid minerals: a textbook]. Ukhta: UGTU, 2004. 109 p.

Rodionov N. V., Lepekhina E. N., Antonov A. V., Kapitonov I. N., Balashova Yu. S., Belyatskii B. V., Arzamastsev A. A., Sergeev S. A. U-Pb SHRIMP-II ages of titanite and timing constraints on apatite-nepheline mineralization in the Khibiny and Lovozero alkaline massifs (Kola Peninsula). *Russ. Geol. and Geophysics.* 2018. Vol. 59, no. 8. P. 962–974. doi: 10.15372/GiG20180805

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

Saldin B. A., Burtsev I. N., Simakova Yu. S., Filippov V. N. Tseolity v verkhneyurskikh porodakh Chim-Loptyugskogo mestorozhdeniya goryuchikh slantsev (Yarengskii slantsenosnyi raion) [Zeolites in the Upper Jurassic rocks of the Chim-Loptyugskoye oil shale field (Yarengsky shale-bearing region)]. *Diagnostika vulkanogennykh produktov v osadochnykh tolshchakh*: Mater. ros. soveshch. s mezhdunar. uch. [Diagnostics of volcanogenic products in sedimentary strata: Proceed. Russ. meeting with int. part.]. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN, 2012. P. 112–116.

Shchiptsov V. V. Znachenie industrial'nykh mineralov Karelii v oblastiakh promyshlennogo proizvodstva [Importance of industrial minerals of Karelia in the areas of industrial production]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Min. of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. No. 3. P. 126–130.

Shchiptsov V. V. Obzor i otsenka industrial'nykh mineralov Respubliki Kareliya [Review and assessment of industrial minerals of the Republic of Karelia]. *Geol. rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits]. 2005. Vol. 47, no. 1. P. 3–15.

Snyatkova O. L., Pronyagin N. I. Novye dannye o strukture apatit-nephelinovykh mestorozhdenii [New data on the structure of apatite-nepheline deposits]. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and Protection of Subsurface Resources]. 1983. No. 7. P. 10–14.

Timonin N. I. Pechorskaya plita: istoriya geologicheskogo razvitiya v phanerozoie [Pechora Plate: history

of geological development in the Phanerozoic]. Ekaterinburg: UrD RAS, 1998. 238 p.

Toporkov V. G. Otsenka perspektiv tsentral'nykh raionov Respubliki Komi na netraditsionnye i redkie vidy nemetallicheskikh poleznykh iskopaemykh (bitumy, bituminoznye porody, prirodnye pigmenty, glaukonity, oblitsovochnye, podelochnye i dekorativnye kamni) [Assessing the prospects of the central regions of the Komi Republic for unconventional and rare types of non-metallic minerals (bitums, bituminous rocks, natural pigments, glauconite, facing, ornamental and decorative stones)]. Ukhta, 1996. (Komigeolfond. Inv. № 10998).

Udoratina O. V., Kulikova K. V., Varlamov D. A., Makeev B. A., Isaenko S. I., Shevchuk S. S. Kalievyi polevoi sapat sienitov (Srednii Timan) [Potassium feldspar of syenites (Middle Timan)]. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN* [Vestnik IG Komi SC UrB RAS]. 2015. No. 10. P. 11–16.

Ustinov V. N., Zagainyi A. K., Smit K. B., Ushkov V. V., Laz'ko E. E., Luk'yanova L. I., Lobkova L. P. Ranneproterozoiskie almazonosnye kimberlity Karelii i osobennosti ikh formirovaniya [Early Proterozoic diamondiferous kimberlites of Karelia and features of their formation]. *Geol. i geofizika* [Geol. and Geophysics]. 2009. Vol. 50, no. 9. P. 963–977.

Ushkov V. V., Zagainyi A. K., Smit K. B., Ushkov V. V., Laz'ko E. E., Luk'yanova L. I., Lobkova L. P. Kimozer-skoe proyavlenie kimberlitov v Onezhskoi strukture [Kimozersky manifestation of kimberlites in Onega structure]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. No. 3. P. 94–98.

Yushkin N. P., Kunts A. F., Taranina T. I. Barity Uralo-Paikhoiskoi provintsii [Barites of the Ural-Paykhoy province]. Ekaterinburg: URO RAN, 2002. 338 p.

Yushkin N. P., Kunts A. F., Timonin N. I. Minerageniya Pai-Khoya [Pai-Khoy Minerageny]. Ekaterinburg: URO RAN, 2007. 290 p.

Yushkin N. P., Romashkin Yu. N., Markova G. A. Uralo-Novozemel'skaya flyuoritonosnaya provintsiya [Ural-Novaya Zemlya fluoriferous province]. Leningrad: Nauka, 1982. 218 p.

Vlasenko V. V. Osobennosti i perspektivy sovmestnoi razrabotki vysokovyazkoi nefiti i titanovoi rudy na ploshchadyakh ikh sovmestnogo zaleganiya v granitsakh Yaregskogo neftititanovogo mestorozhdeniya [Features and prospects of the joint development of high-viscosity oil and titanium ore on the areas of their joint occurrence within the Yarega oil and titanium field]. *Probl. razrabotki i ekspluatatsii mestorozhdenii vysokovyazkikh neftei i bitumov: Mat. mezhreg. nauch.-tekhn. konf.* [Problems of development and operation of high-viscosity oil and bitumen deposits: Proceed. inter-regional sci. and tech. conf.]. Ukhta, 2010. P. 24–35.

Voitekhovskii Yu. L. Kianitovye slantsy B. Keiv – strategicheskii resurs Rossii [Kyanite shales of the Bolshie Keivy – a strategic resource of Russia]. *Probl. osvoeniya kianitovykh mestorozhdenii Kol'skogo poluostrova, Karelii i Urala* [Probl. of development of kyanite deposits of the Kola Peninsula, Karelia, and the Urals]. Apatity: KNTs RAN, 2010. P. 55–63.

Zhirov D. V., Zozulya D. R., Kozlov N. E. Syr'evaya baza tverdykh poleznykh iskopaemykh – osnova sba-

lansirovannogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Evro-Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii [Mineral resources of the Murmansk Region as a basis for sustainable socio-economic development of the Euro-Arctic zone of the Russian Federation]. *Sever i rynek: formirovanie ekonomich. poryadka* [North and market: Formation of the economic order]. 2019. No. 1(63). P. 36–49. doi: 10.25702/KSC.2220-802X.1.2019.63.36-49

Zhirov D. V., Melikhova G. S., Rybin V. V., Sokhariev V. A., Klimov S. A. Osobennosti inzhenerno-geologicheskogo izucheniya massivov skal'nykh porod v tselyakh proektirovaniya glubokikh kar'erov na primere Kovdorskogo mestorozhdeniya magnetitovykh i apatitovykh rud. Chast' 1 [Features of engineering-geological study of rock masses for the purpose of designing deep pits using the example of the Kovdorsky deposit of magnetite and apatite ores. Part 1]. *Vestnik KNTs RAN* [Bull. KSC RAS]. 2016. No. 1. P. 15–25.

Boström R. Litum: esiintymät, tuotanto ja markkinat. *Suomen teollisuusmineraalit ja teollisuuskivet*. Toim. I. Haapala. Yliopistopaino, Helsinki, 1988. P. 133–143. (In Finnish)

Heino J., Ivanova L. V., Burtsev I. N., Drivenes E. A., Isaeva E. D., Shchiptsov V. V. Mineral resources and mining. *Encyclopedia of the Barents region*. Ed. M.-O. Olsson. Oslo: Fax Forlag A/S, 2016. Vol. I, A-M. P. 482–494.

Industrial minerals: deposits & new developments in Fennoscandia: Proceed. Int. Conf. Eds. V. V. Shchiptsov, L. S. Scamnitskaya, L. A. Danilevskaya. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 162 p.

Kovalevsky V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential. *ICAM 2019: SPEES*. S. Glagolev (ed.). 2019. P. 201–204.

Kramm U., Kogarko L. N. Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero apatitic centers, Kola Alkaline Province, Russia. *Lithos*. 1994. Vol. 32. P. 33–44.

Kramm U., Kogarko L. N., Kononova V. A., Vartiainen H. The Kola Alkaline Province of the CIS and Finland: Precise Rb-Sr ages define 380–360 age range for all magmatism. *Lithos*. 1991. Vol. 30. P. 33–44.

Lehtonen M., O'Brien H. Mantle transect of the Karelian Craton from margin to core based on P-T data from garnet and clinopyroxene xenocrysts in kimberlites. *Bull. Geol. Society of Finland*. 2009. Vol. 81. P. 79–102.

Precambrian industrial minerals of Karelia. Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: Poliprint Ltd, 1993. 84 p.

Putinceva E. V., Spiridonov E. M. Features of the mineral composition of the oldest Russia's kimberlites and metakimberlites of Kimozero (Karelia) and the reasons for their. *Geologiya, magmatizm i metallogeniya Tsentra Azii. 2018: Rudno-magmaticheskie sistemy Sangilena (shchelochnye intruzivy, karbonatity): Sb. trudov konf.* [Geology, magmatism, and metallogeny of Central Asia. 2018: Sangilen ore-magmatic systems (alkaline intrusives, carbonatites): Proceed. conf.]. Kyzyl: TuvKOPR SO RAN, 2018. P. 94–99.

Zeisev A., Bell K. Sr and Nd isotope data of dolomite as indicators of source, and relations of phoscorates and carbonatites from Kovdor massif, Kola peninsula, Russia. *Contr. Mineral Petrol*. 1995. No. 123. P. 324–325.

Zhirov D. Controlling structures of the Palaeozoic Plume in the Kola Alkaline Large Igneous Province. *SGEM-2016: Conf. Proceed. Book 1: Sci. and Tech. in Geol., Exploration and Mining. Vol. 1. Hydrogeol.,*

Engineering Geol. and Geotechnics. Albena (Bulgaria), 2016. P. 133–140.

Received June 04, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щипцов Владимир Владимирович

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

Бурцев Игорь Николаевич

директор, к. г.-м. н.
Институт геологии Коми научного центра УрО РАН
ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, Республика Коми,
Россия, 167982
эл. почта: bin19661010@gmail.com
тел.: +79128665942

Жиров Дмитрий Вадимович

научный сотрудник
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: zhirov@geoksc.apatity.ru
тел.: +79113032903

Волошин Анатолий Васильевич

старший научный сотрудник, д. г.-м. н.
Геологический институт Кольского научного центра РАН
ул. Ферсмана, 14, Апатиты, Мурманская область,
Россия, 184209
эл. почта: vol@geoksc.apatity.ru
тел.: (81555) 79292

Машин Денис Олегович

младший научный сотрудник
Институт геологии Коми научного центра УрО РАН
ул. Первомайская, 54, Сыктывкар, Республика Коми,
Россия, 167982
эл. почта: denis.mashin@gmail.com
тел.: +79222724386

CONTRIBUTORS:

Shchiptsov, Vladimir

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

Burtsev, Igor

Institute of Geology, Komi Science Centre,
Russian Academy of Sciences
54 Pervomaiskaya St., 185910 Syktyvkar, Komi Republic,
Russia
e-mail: bin19661010@gmail.com
tel.: +79128665942

Zhirov, Dmitry

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: zhirov@geoksc.apatity.ru
tel.: +79113032903

Voloshin, Anatoly

Geological Institute, Kola Science Centre,
Russian Academy of Sciences
14 Fersman St., 184209 Apatity, Murmansk Region, Russia
e-mail: vol@geoksc.apatity.ru
tel.: (81555) 79292

Mashin, Denis

Institute of Geology, Komi Science Centre,
Russian Academy of Sciences
54 Pervomaiskaya St., 185910 Syktyvkar, Komi Republic,
Russia
e-mail: denis.mashin@gmail.com
tel.: +79222724386

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.

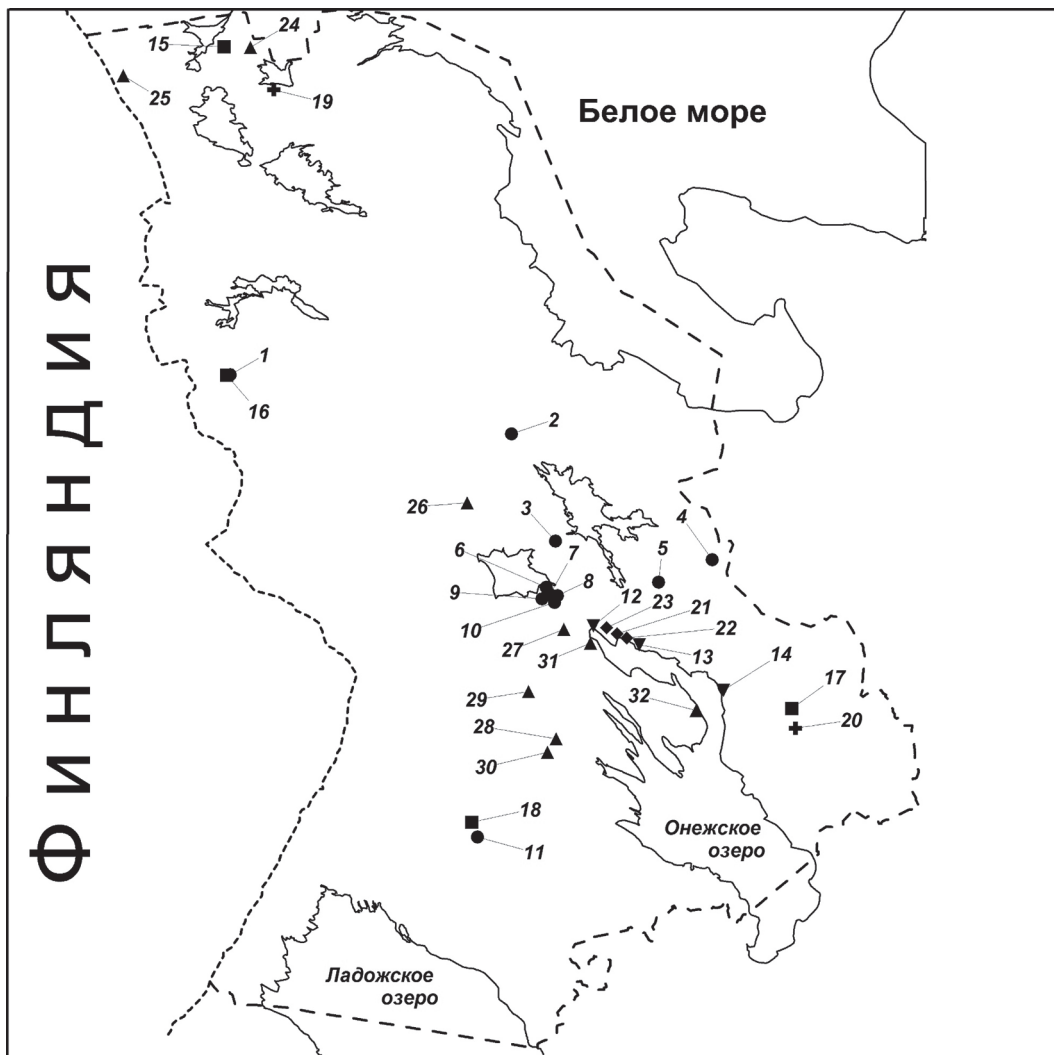
Эволюция эндогенных режимов и минерагения магнезиального сырья

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 вулкаников – 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 оперяющих 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 экзоконтактовой 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 $TiO_2 < 1\%$ 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).

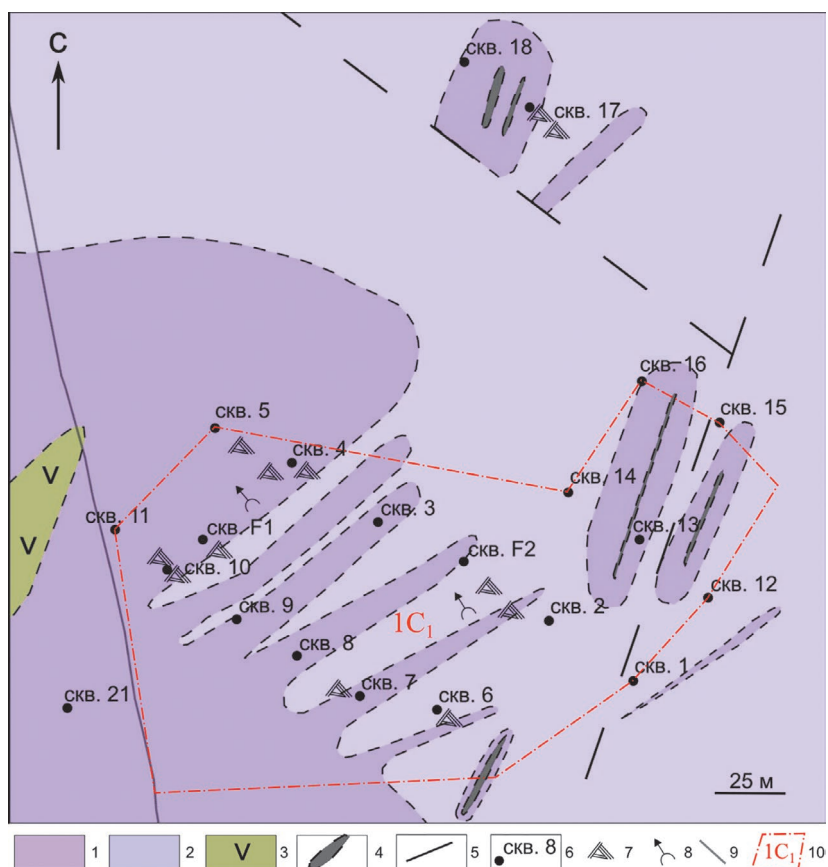


Рис. 2. Схема геологического строения участка Зеленая горка месторождения талькового камня Озерки:

1 – хлорит-амфиболовые и (карбонат)-амфибол-тальк-хлоритовые породы; 2 – карбонат-хлорит-тальковые породы (тальковый камень); 3 – метабазалты; 4 – метагаббро; 5 – тектонические нарушения; 6 – скважины; 7 – зоны спинифекс-структур; 8 – направление кровли лавового потока; 9 – дорога; 10 – контур подсчета запасов категории C_1

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 – C_1 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 – serpentine, 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), пироксенами, 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, Кукаосозерский 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 [Каменова 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 природоохранных 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 людиковийского 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 [Мутыгуллин, 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 удлинённой формы, заполненных хлоритом, карбонатом, кварцем. В массивных разностях миндалин 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. Талькосодержавные 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., Горбацевич 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.

Горошко 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 талькосодержавного 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 минерации 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 минералоготехнологическая 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-Murennaavaara" [Report on the geological study of the Kallievo-Murennaavaara 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 [Serpentine 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 uyezda 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 vyyavleniya 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 promyshlennyye mineraly i gornyye 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" (oblitsovochnyy 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-khloritovyye 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 (opornyy razrez i petrologiya) [Suisar 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

УДК 553.613

ПОЛЕВОШПАТОВОЕ СЫРЬЕ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

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

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

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

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

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

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

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

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

Введение

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

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

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

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

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

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

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

Основные месторождения полевошпатового сырья Республики Карелия

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

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

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

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

Минералого-технологическая оценка полевошпатового сырья

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

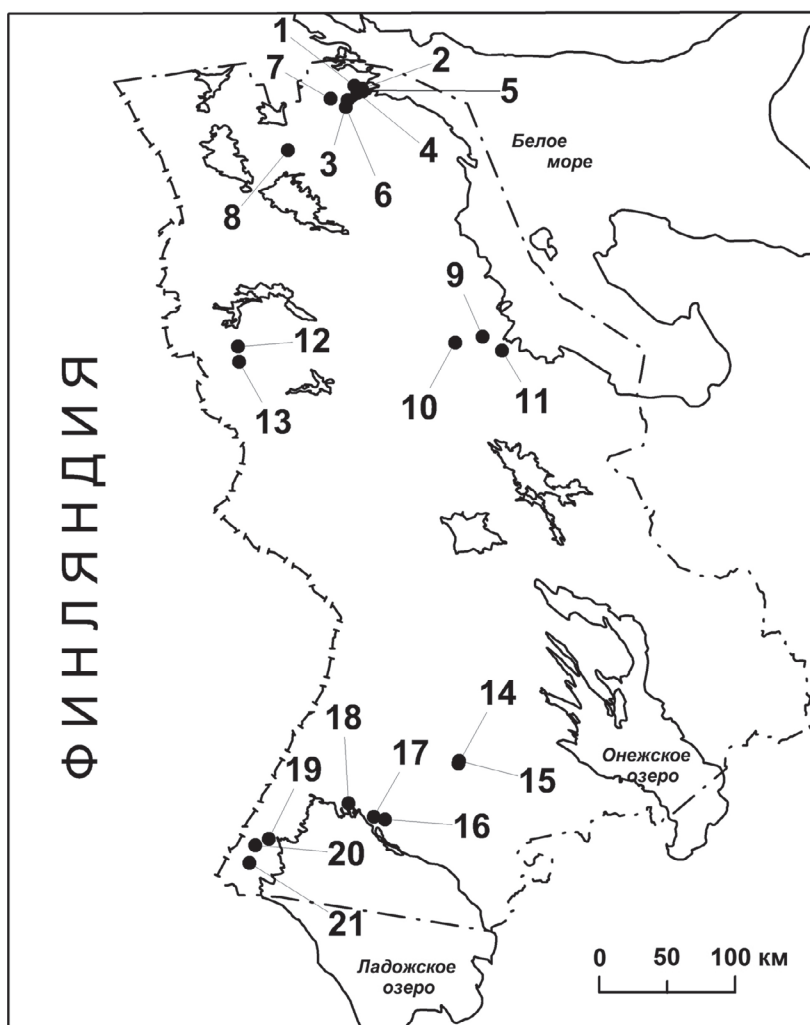


Рис. 1. Карта размещения месторождений полевошпатового сырья РК:

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

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

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

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

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

Таблица 1. Средний минеральный состав различных видов полевошпатового сырья РК

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

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

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

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

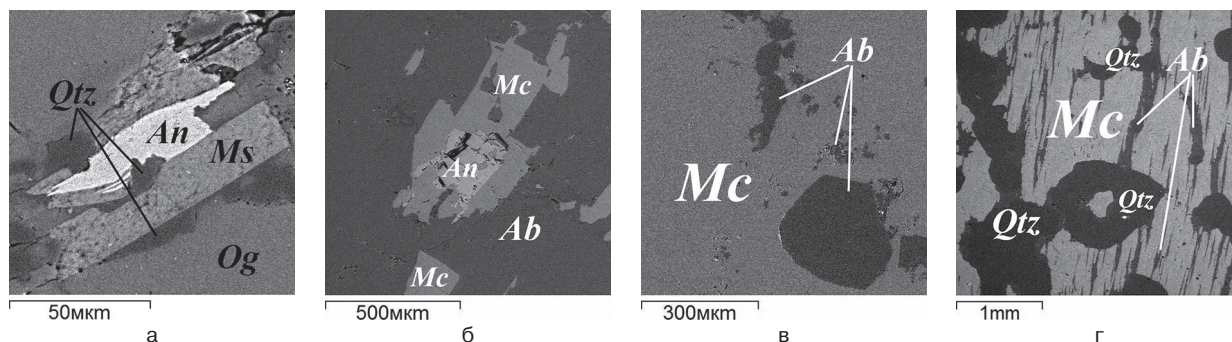


Рис. 2. Микроструктурные особенности пегматитов месторождений: а – Малиновая Варакка, б, в – Длинная Ламбина, г – Кюрьяла. Изображение СЭМ VEGA II LMU.

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

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

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

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

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

Сводным балансом запасов полевошпатового сырья по Карелии учитываются 19 ме-

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

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

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

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

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

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

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

Граниты-рапакиви

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

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

Широкое распространение в породах процессов перекристаллизации приводит к увеличению доли кварца (около 35 %) и калиевого полевого шпата (до 60 %) (рис. 3, б), с образованием относительно легкообогатимых разновидностей. Минеральные включения, имеющие микронные размеры, в процессе обогащения практически не удаляются, что может влиять на изменение белизны получаемых в дальнейшем керамических изделий. Тем не менее полевошпатовые концентраты (табл. 2) характеризуются высоким калиевым модулем ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ от 1,85 до 2,65) и соответствуют требованиям, предъявляемым к полевошпатовым материалам для различных производств.

Анортозиты

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

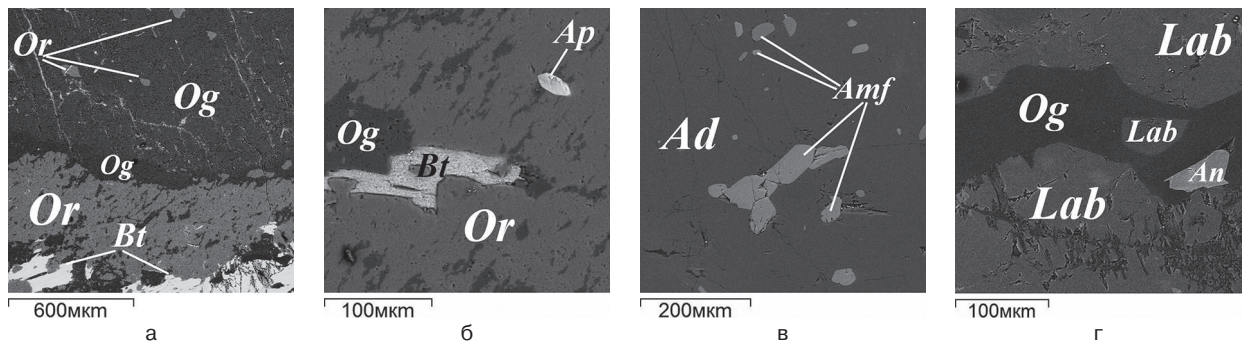


Рис. 3. Микроструктурные особенности гранитов-рапакиви (а, б) и анортозитов (в, г). Изображение СЭМ VEGA II LMU.

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

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

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

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

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

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

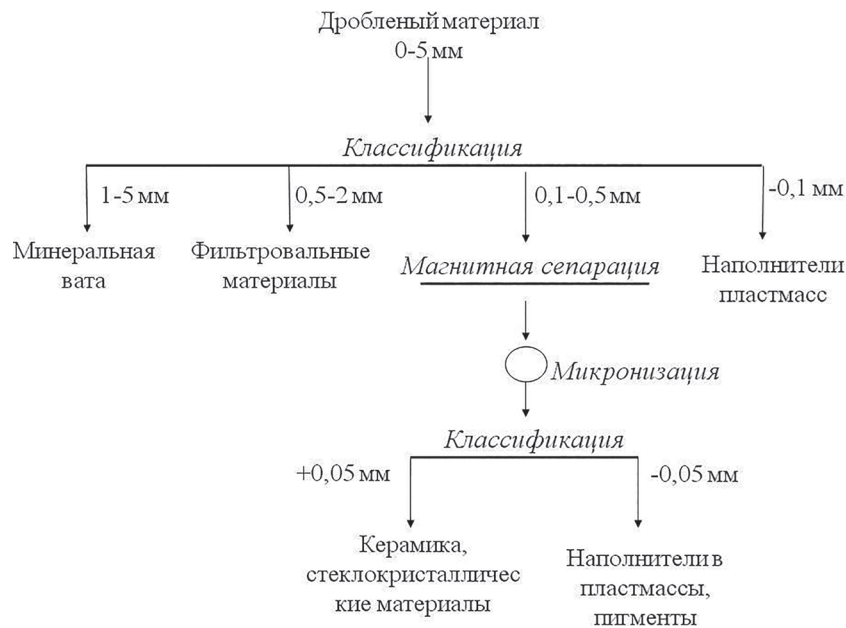


Рис. 4. Принципиальная технологическая переработка анортозитов проявления Нижнее Котозеро

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

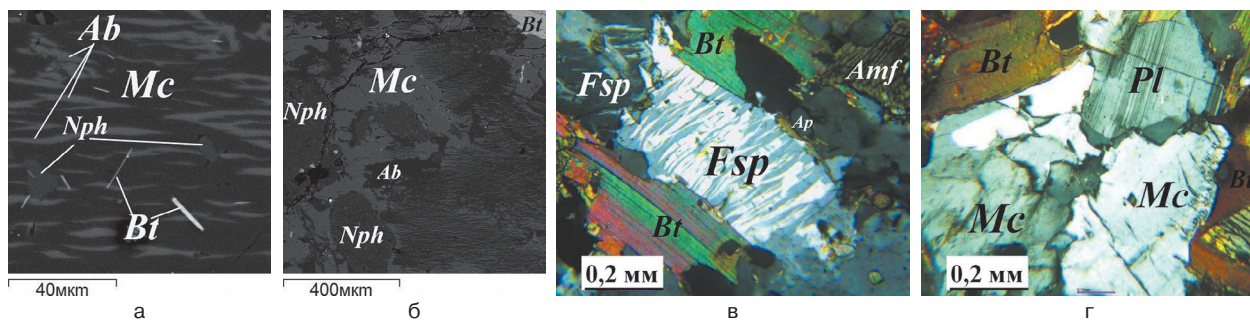


Рис. 5. Микроструктурные особенности сиенитов: а, б – нефелиновые сиениты Елетьозеро, уч. Северный (изображение СЭМ VEGA II LMU); в, г – сиениты Элисенваара (фото шлифов):

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

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

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

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

Нефелиновые и щелочные сиениты

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

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

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

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

Сиениты барий-стронциевые

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

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

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

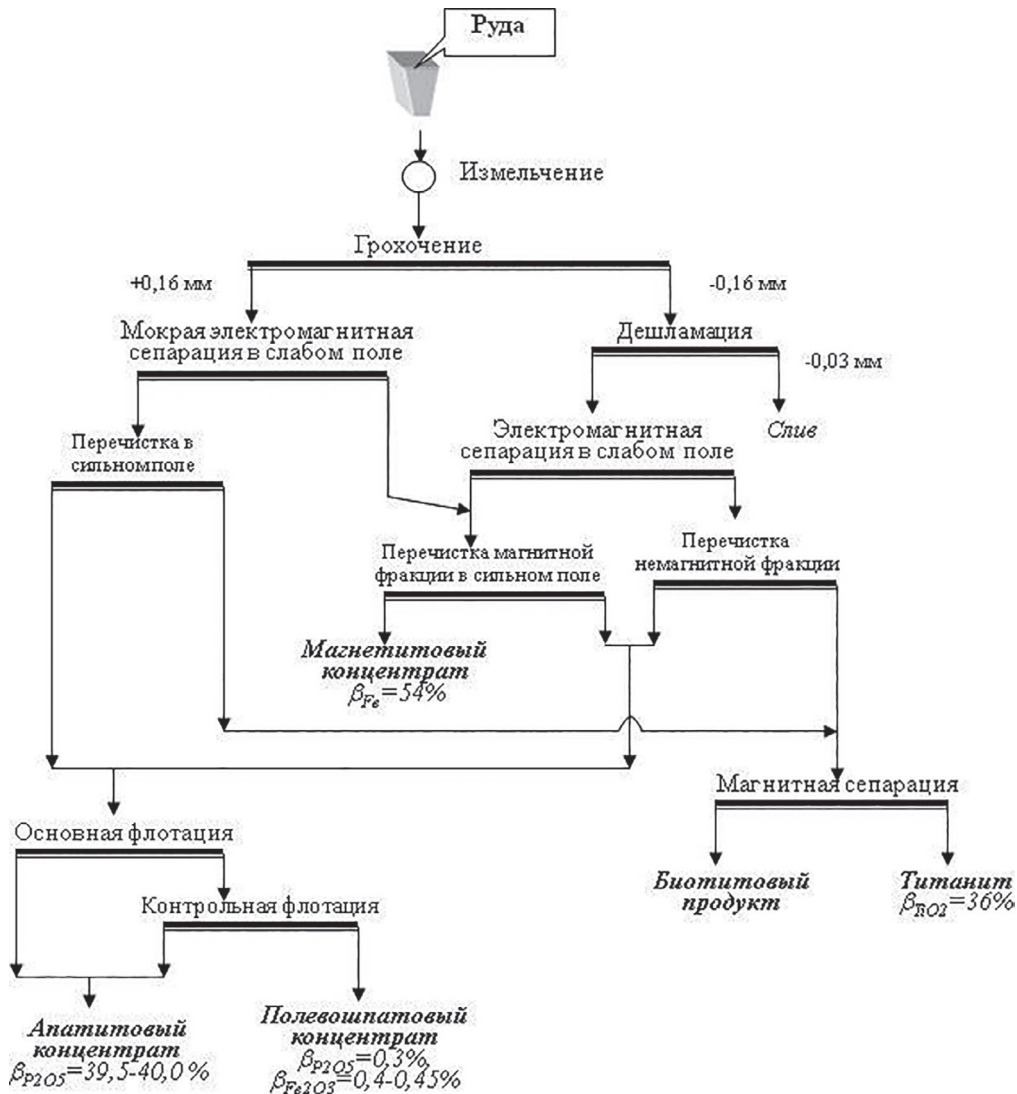


Рис. 6. Схема обогащения сиенитов Элисенваарского массива

Fig. 6. Scheme of the Elisenvaara ore enrichment

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

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

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

и в качестве наполнителя в строительных и лакокрасочных композициях.

Кварцевые порфиры

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

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

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

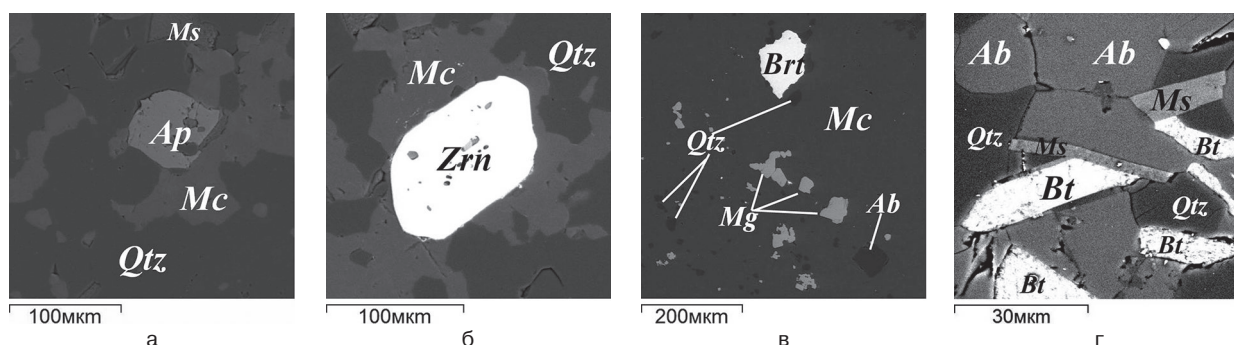


Рис. 7. Микроструктурные особенности вулканогенных пород: а, б – кварцевых порфиров; в, г – калиевой и натровой геллефлинт. Изображение СЭМ VEGA II LMU.

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

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

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

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

Геллефлинты, лептитовые сланцы и плагиопорфиры

На Костомукшском железорудном месторождении среди вскрышных пород лопийского осадочно-вулканогенного комплекса наибольшую ценность представляют геллефлинты – кварц-полевошпатовые породы риолит-дацитового состава калиевой (рис. 7, в) и натриевой (рис. 7, г) разновидностей. В натриевой разновидности, составляющей более 90 % от общего объема породы, сумма $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ составляет 5,95 %, а калиевый модуль $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,03$. Содержание породообразующих минералов варьирует в относительно узких пределах (табл. 1). Плагиоклаз представлен преимущественно альбитовой и реже олигоклазовой разновидностями, присутствуют ортоклаз и микроклин в количестве не более 1 %. Основную массу примесей составляют слюды, преобладающий размер которых определяет эффективность обогащения. Наиболее трудноудаляемые включения биотита (рис. 7, г) имеют микрометровые размеры, что сказывается на увеличении содержания оксида железа в полевошпатовом продукте до 0,7 %. Кварц-полевошпатовый концентрат, полученный по различным технологическим схемам с использованием магнитной сепарации, содержит 0,1–0,2 % Fe_2O_3 при калиевом модуле около 1 (табл. 2). Выход концентрата – 70–75 %. В результате многолетних комплексных исследований показано, что геллефлинты,

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

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

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

Заключение

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

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

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

Окислы Oxides	Корпанга, лептитовые гнейсы Korpanga, leptite gneiss		Костомукша, геллефлинта Kostomuksha, hallefiinta	
	Исходная порода Ore	Концентрат Concentrate	Исходная порода Ore	Концентрат Concentrate
SiO_2	67,68–69,58	74–75	67,89–71,89	71–72
TiO_2	0,11–0,14	0,1–0,2	0,03–0,14	0,02–0,03
Al_2O_3	14,93–15,38	15,75–16,0	15,30–18,91	16,02–16,5
Fe_2O_3	1,2–1,39	0,16–0,25	0,02–1,92	0,14–0,16
FeO	2,30–3,52	н/о	0,11–2,70	н/о
MnO	0,031–0,043	0,1	0,01–0,17	0,01
MgO	1,41–1,51	н/о	0,28–1,30	0,1–0,18
CaO	2,80–2,87	2,1–2,5	0,74–2,70	1,75–1,8
Na_2O	5,00–5,15	6–6,5	4,25–6,87	6,73–7,0
K_2O	1,11–1,16	0,30	0,37–3,06	0,2–0,3
$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	< 1	< 1	< 1	< 1

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

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

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

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

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

Литература

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Поступила в редакцию 19.05.2020

References

Avgustinik A. I. Keramika [Ceramics]. Leningrad: Stroiizdat, 1975. 592 p.

Barkhatov A. V., Skamnit'skaya L. S. Osobennosti obogashcheniya i kompleksnogo ispol'zovaniya apatitovykh rud Yuzhnoi Karelii [Features of enrichment and integrated use of Apatite ores of South Karelia]. *Kompleksnoe i ratsional'noe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya Karelii* [Comprehensive and rational use of mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1986. P. 24–40.

Belov Yu. I., Bresler S. M., Pekki A. S., Kulmala T. K. Kvartsevye porfiry Karelii – novyi istochnik polevoshpatovogo syr'ya [Quartz porphyry of Karelia – a new source of feldspar raw materials]. *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and Protection of Mineral Resources]*. 1973. No. 6. P. 7–10.

Borisov P. A. Keramicheskie pegmatity SSSR i ikh zameniteli [Ceramic pegmatites of the USSR and their substitutes]. Moscow: AN SSSR, 1954. 270 p.

Geologiya Karelii [Geology of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1987. 230 p.

Golovanov Yu. B., Mikhailov V. P., Shchiptsov V. V., Rodionov V. S. Polevoshpatovoe syr'e [Feldspar raw materials]. *Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya* [Raw material base of the Republic of Karelia]. Book 2. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. P. 85–104.

Gosudarstvennyi balans zapasov poleznykh iskopayemykh Rossiiskoi Federatsii. Polevoshpatovoe syr'e [National register of mineral resources of the Russian Federation. Feldspar raw materials]. Iss. 52. Moscow, 2015.

Grodnitskii L. L. Granitnye pegmatity Baltiiskogo shchita [Granite pegmatites of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1982. 294 p.

Guzman I. Ya. Khimicheskaya tekhnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics]. Moscow: Stroimaterialy, 2003. 496 p.

Ilyina V. P., Lebedeva G. A. Ispol'zovanie otkhodov obogashcheniya shchelochnykh sienitov Elet'ozerskogo mestorozhdeniya dlya izgotovleniya keramicheskikh plitok [Use of waste from the enrichment of alkaline syenites of the Eleyozero deposit for the production of ceramic tiles]. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics]. 2010. No. 7. P. 3–6.

Ilyina V. P., Klabukov B. N. Polevoshpatovoe syr'e Karelii i sravnitel'nyi analiz rezul'tatov izucheniya ego fiziko-tekhnologicheskikh svoystv [Karelian feldspar raw materials and comparative analysis of the results of studying its physical and technological properties]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 6. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 109–113.

Kameneva E. E., Skamnit'skaya L. S. Obogashchenie mineral'nogo syr'ya Karelii [Enrichment of mineral raw materials of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. 230 p.

Khazov R. A. Metallogeniya Ladozhsko-Botnicheskogo geobloka Baltiiskogo shchita [Metallogeny of the Ladoga-Bothnian geoblock of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1982. 192 p.

Ladozhskaya proterozoiskaya struktura (geologiya, glubinnoe stroenie i minerageniya) [Ladoga Proterozo-

ic structure (geology, deep structure, and minerageny)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020. 435 p.

Larin A. M. Granity rapakivi i assotsiiiruyushchie porody [Rapakivi granites and associated rocks]. St. Petersburg: Nauka, 2011. 402 p.

Pekki A. S., Skamnit'skaya L. S. Nefelinovye sienity Elet'ozera – perspektivnyi istochnik polevoshpatovogo syr'ya [Nepheline syenites of Eleyozero are a promising source of feldspar raw materials]. *Mineral'noe syr'e Karelii* [Mineral raw materials of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 1977. P. 39–47.

Pekki A. S., Razorenova V. I. Mestorozhdeniya polevoshpatovogo syr'ya Karelii [Deposits of feldspar raw materials in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1977. 152 p.

Pekki A. S., Kulmala T. K., Skamnit'skaya L. S., Barkhatov A. V. Rezeravnaya baza kvarts-polevoshpatovogo syr'ya v Severnom Priladozh'e [Reserve base of quartz-feldspar raw materials in the Northern Ladoga region]. *Kompleksnoe i ratsional'noe ispol'zovanie mikroklinovogo syr'ya Karelii* [Comprehensive and rational use of Karelian microcline raw materials]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1986. P. 13–24.

Pekki A. S., Skamnit'skaya L. S., Kulmala T. K. O vozmozhnosti dobychi mikroklinovyykh pegmatitov na mestorozhdenii Brusnichnoe. Oper.-inform. materialy za 1976 g. [On the possibility of microcline pegmatites production at the Brusnichnoye deposit. Operational and informational materials for 1976]. Petrozavodsk, 1976. P. 42–47.

Respublika Kareliya v tsifrakh 2019. Kratkii statisticheskii sbornik [The Republic of Karelia in numbers by 2019. A brief statistical collection]. *Federal'naya sluzhba gos. statistiki* [Federal St. Statistics Service]. URL: [https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02471\(1\).pdf](https://krl.gks.ru/storage/mediabank/02471(1).pdf) (accessed: 20.04.2020).

Rodionov V. S. Otchet "Otsenka resursnogo potentsiala neraspredelennogo fonda nedr mestorozhdenii Chupino-Loukhskoi gruppy s tsel'yu otsenki tselesobraznosti vozobnovleniya dobychi slyudy muskovita i otsenki vozmozhnosti mnogotselevogo ispol'zovaniya porod, slagayushchikh gornye otvaly etikh mestorozhdenii" [Report Assessment of the resource potential of the unallocated subsoil fund of the Chupino-Loukh group deposits in order to assess the feasibility of commencement of muscovite mica production and possibility of multi-purpose use of the rocks composing mining stockpiles of these deposits]. Chupa, 2007. 130 p.

Sharkov E. V., Belyatskii B. V., Bogina M. M., Chistyakov A. V., Shchiptsov V. V., Antonov A. V., Lepekhi-na E. N. Kristallogenezis i vozrast tsirkona iz shchelochnykh i osnovnykh porod Elet'ozerskogo magmaticheskogo kompleksa, Severnaya Kareliya [Crystallogenesi and age of zircon from alkaline and basic rocks of the Eleyozero igneous complex, Northern Karelia]. *Petrologiya* [Petrology]. 2015. Vol. 23, no. 3. P. 285–307.

Shishkov A. Yu. Novye perspektivy primeneniya otkhodov gornodobyvayushchikh proizvodstv Karelo-Kol'skogo regiona [New prospects for the use of mining waste in the Karelo-Kola region]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2020. No. 1. P. 90–97.

Shchiptsov V. V., Skamnit'skaya L. S., Bubnova T. P., Garanzha A. V., Danilevskaya L. A., Savitskii A. I., Bukchina O. V. Geologo-tekhnologicheskaya kharakteri-

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

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

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

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

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

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

Shchiptsov V. V., Skamnitckaya L. S., Bubnova T. P., Danilevskaya L. A. Rol' geologicheskikh, mineralogicheskikh i tekhnologicheskikh issledovaniy Instituta geologii KarNTs RAN v otsenke potentsiala mineral'no-syr'evoy bazy Respubliki Kareliya [The role of geological, mineralogical and technological research of the Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences in assessing the potential of the mineral resource base of the Republic of Karelia]. *Tekhnol. mineralogiya, metody pererabotki mineral'nogo syr'ya i novye mat.* [Technol. mineralogy, methods of processing mineral raw materials, and new mat.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 37–55.

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

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

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

Skamnitckaya L. S., Barkhatov A. V., Kulmala T. K., Marina S. P. Primenenie novoy tekhnologii obogashcheniya v poluchenii mikroklivnykh kontsentratov iz pegmatitov [The application of a new technology for enriching microcline in obtaining concentrates from pegmatites]. *Rezultaty tekhnol. issled. 1987–1988 gg.* [Results of technol. res. in 1987–1988]. Petrozavodsk, 1988.

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

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

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

Skamnitckaya L. S., Bubnova T. P., Dubinchuk V. T., Rakov L. T. Nauchnoe obosnovanie potentsiala kvartsa iz tekhnogennykh otvalov slyudonosnykh pegmatitov (Kareliya) [Scientific bases of quartz potential from technogenic dumps of mica-bearing pegmatites (Karelia)]. *Tekhnol. mineralogiya prirod. i tekhnogennykh mestorozhdeniy* [Technol. mineralogy of nat. and man-made deposits]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 90–99.

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

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

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

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

Received May 19, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бубнова Татьяна Петровна

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

Скамницкая Любовь Степановна

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

Ильина Вера Петровна

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

CONTRIBUTORS:

Bubnova, Tatyana

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

Skamnitskaya, Lubov

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

Ilyina, Vera

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

УДК 553.61 + 622.7 (470.22)

КИАНИТОВЫЕ РУДЫ ХИЗОВААРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)

**В. В. Щипцов, Т. П. Бубнова, А. С. Заверткин, А. Г. Никифоров,
Л. С. Скамницкая, П. В. Фролов**

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

Показана смена практической значимости кианитовых руд от природных источников алюминия до высокоглиноземистого промышленного минерала, используемого в производстве огнеупоров, противопопригарных покрытий и спецкерамических материалов. Представлена история исследований до открытия полигенных и полихронных кианитовых руд промышленного Хизоваарского кианитового поля. Хизоваарская структура Северо-Карельской зеленокаменной области стала одним из полигонов для обобщения материалов по морфогенетическим типам и технологии обогащения кианитовых руд. Дана всесторонняя характеристика основного объекта – Южной линзы, состоящей из шести крупных метаморфогенно-метасоматических и метасоматических залежей. На современном уровне Хизоваарская структура стала эталоном геодинамической модели формирования зеленокаменных поясов северокарельского типа на основе представлений террейновой тектоники с приложением результатов по геохимической типизации магматических пород и изотопно-геохронологическому изучению, полученных Е. В. Бибиковой, В. Н. Кожевниковым, А. В. Самсоновым, А. И. Слабуновым, А. А. Щипанским и др. Благодаря работам С. А. Бушмина и В. А. Глебовицкого установлены термодинамические режимы метаморфизма и разнообразные метасоматические процессы, от кислотного выщелачивания до щелочного метасоматоза. Геолого-технологическая характеристика рудного поля приведена В. В. Щипцовым с коллегами. В обобщенной форме представлены результаты многолетних исследований технологической минералогии кианитов, обогащения с использованием флотации, маркетингового анализа, проведенных в Институте геологии КарНЦ РАН. Дефицит огнеупорных материалов с использованием высокоглиноземистого сырья в различных отраслях промышленности обуславливает необходимость расширения минерально-сырьевой базы. Кианит – это материал XXI века, и потенциальная сырьевая база кианита России связывается с Карельским регионом.

Ключевые слова: кианит; метаморфогенные, метаморфогенно-метасоматические и метасоматические руды; кислотное выщелачивание; флотация; огнеупоры; спецкерамика; Хизоваарское кианитовое поле.

**V. V. Shchiptsov, T. P. Bubnova, A. S. Zavertkin, A. G. Nikiforov,
L. S. Skamnitskaya, P. V. Frolov. KYANITE ORES IN THE KHIZOVAARA
ORE FIELD, NORTH KARELIA**

A succession in the practical applications of kyanite ores from being a natural source of aluminium to a high-alumina industrial mineral used for manufacturing refractory, non-

stick and special ceramic materials is explained. All stages of research up to the discovery of polygenic and polychronous kyanite ores in the industrial Khizovaara Kyanite Field are described. The Khizovaara Structure of the North Karelian Greenstone Province has become an experimental ground for summarizing the available data on the morphogenetic types and dressing technology of kyanite ores. The main locality, known as the Yuzhnaya Lens, consisting of six large metamorphogenic-metasomatic and metasomatic bodies, is described in detail. The Khizovaara Structure now serves as the standard for the geodynamic model of the formation of greenstone belts of the North Karelian type based on our knowledge of terrain tectonics, with the application of the results on the geochemical types of igneous rocks and isotope-geochronological studies conducted by E. V. Bibikova, V. N. Kozhevnikov, A. V. Samsonov, A. I. Slabunov, A. A. Shchipansky and others. S. A. Bushmin and V. A. Glebovitsky have revealed the thermodynamic regimes of metamorphism and various metasomatic processes ranging from acid leaching to alkaline metasomatism. The ore field was described geologically, technologically and economically by V. V. Shchiptsov et al. A summary is provided of the results of long-term studies on the technological mineralogy of kyanites, their enrichment by flotation, and the related market analysis carried out at the Institute of Geology KarRC RAS. There is a shortage of refractory materials based on high-alumina raw materials in various industries. Therefore, the raw materials potential should be augmented. Kyanite is a material belonging to the 21st century. Russia's kyanite potential is largely associated with the Karelian Region.

Key words: kyanite; metamorphogenic, metamorphogenic-metasomatic and metasomatic ores; acid leaching; flotation; refractory materials; special ceramics; Khizovaara Kyanite Field.

Введение

Алюминий занимает первое место среди цветных металлов по уровню производства и потребления. Исторически сложилось, что пальма первенства в алюминиевой промышленности принадлежит бокситовым рудам, из которых технологически возможно и целесообразно извлекать алюминий [Козловский, 2014]. Среди нетрадиционных видов высокоглиноземистого сырья особое место занимают кварц-глиноземистые породы (группа силлиманита: силлиманит, андалузит, кианит и муллит), метаморфогенные, первоначально обогащенные глиноземистыми минералами [Небокситовое..., 2011]. Изучение их проводилось в 30–60-е годы прошлого столетия. В нашей стране основными регионами, где известны кианитовые руды, являются Мурманская область (Кейвы – Шуурурта, Тяпшманюк, Червурта, Большой Ров и др.), Республика Карелия (Хизоваара), Урал (Абрамовское, Борисовское, россыпи Андрее-Юльевские) и Сибирь (Кяхтинское, Китойское, Базыбайское). В Мурманской области была выявлена крупнейшая по меркам мирового масштаба высокоглиноземистая неогарнейская Кейвская рудная провинция силлиманитовой группы руд с запасами более 1 млрд тонн. Правда, расширение внутреннего рынка алюминия в России за счет ввода в эксплуатацию кейвских, по составу в основном кианитовых, руд пока находится в туманной перспективе.

На повестке дня стоит вопрос об использовании кианита как промышленного минерала в производстве высококонкурентных огнеупоров и дефицитных керамических изделий. Данный минерал прочно занял нишу на мировом рынке благодаря тому, что он не имеет конкурентов по коэффициенту расширения, хотя по химическому составу не отличается от группы силлиманитовых минералов. Формула соответствует $Al_2(SiO_4)O$ [Кривовичев, 2008].

Важным свойством кианита является его переход при обжиге в муллит. Муллит – важный компонент искусственных технических продуктов, устойчивый до температуры 1850 °С. Его свойства определяются высокой огнеупорностью, устойчивостью к большим нагрузкам и превосходной инерционностью на высокие температуры, дополнительные преимущества заключены в устойчивости к термальному шоку из-за низкого коэффициента термального расширения, удовлетворительной теплопроводимости, устойчивости к химическому воздействию и абразии. Муллитовая керамика основана на химическом синтезе кварца и оксида алюминия. Производство неформованных огнеупоров как в Европе, так и в мире, в частности в сталелитейной промышленности Японии, увеличивается ежегодно [Graesberg, 1986; The economics..., 1990; Щипцов, 2005; Огородников и др., 2012].

История изучения Хизоваарского месторождения

Хизоваарская структура является частью Северо-Карельского зеленокаменного пояса, расположенного в зоне влияния неархейских коллизионных процессов. Первые шаги по геологическому заключению о наличии кианитовых проявлений в Карелии сделаны в 1929 году. Исследования проводились по заданию Совнаркома СССР в связи с поисками руд алюминия и созданием алюминиевой промышленности для потребностей и развития самолетостроения. В Карелии несколько кианитовых проявлений выявлены В. С. Артамоновым, П. А. Борисовым, В. А. Токаревым, Л. Я. Харитоновым, Н. А. Волотовской за период 1929–1934 гг. В результате поисковых работ Хизоваарская площадь вызвала наибольший интерес с учетом материалов геологической съемки масштаба 1:100 000 и 1:25 000 (1939 г.). Первые опыты по обогащению серых кианит-кварцевых сланцев были выполнены институтом «Механобр» (руководитель В. Г. Данилов, 1939 г.), что послужило основанием для проведения геологоразведочных работ. В 1940 году Северо-Западное геологическое управление начало разведку Хизоваарского месторождения, но военное положение помешало геологам выполнить конечные задачи, а предварительно подсчитанные запасы алюминия были отнесены на тот момент к резервным. Определенным итогом работ стала статья П. А. Борисова и И. Н. Волотовской [1941], опубликованная в журнале «Советская геология» в 1941 году.

В 1949 г. институтом «Гипроникель» произведена пробная добыча кианитовых пород на участке Южная линза. В 1949–1950 гг. испытание кианитовой руды проводилось на Полевской обогатительной фабрике на Урале по флотационной схеме института «Механобр». Флотометодом в промышленных условиях наработан кианитовый концентрат с содержанием Al_2O_3 57–58 %. В период 1951–1953 гг. были организованы работы по доразведке Хизоваарского месторождения. Доразведка проведена на основании нового задания по кианитовым рудам с ориентацией на выпуск силумина на Надвоицком алюминиевом заводе, строительство которого завершилось в 1954 году. Результаты детальной разведки изложены в многотомном отчете, авторами которого были геологи «Севзапгеологии» Л. Г. Быстрова, А. И. Болотина, Н. А. Волотовская и Л. Е. Роговенко. Защита ТЭО кондиций и запасов промышленных категорий состоялась в Москве (протокол ВКЗ № 8578 от 14 де-

кабря 1953 г.). К забалансовым запасам были отнесены пиритизированные кианитовые руды. При проведении разведочных работ пробурены 32 скважины глубиной до 180 м и пройдены 20 разведочных канав различной протяженности. Месторождение отнесли к метаморфогенно-метасоматическому типу. Перспективный объект получил название Южная линза и включал 6 линзообразных залежей, глубина каждой более 150 м. Общие параметры от 40 до 100 м, средняя 55 м, протяженность 950 м, контакты резкие.

Для отбора технологических проб закладывались 4 опытных карьера, главным из которых был карьер № 3 (юго-западная часть залежи № 4). На обогатимость исследовались две пробы светлых кварц-кианитовых сланцев с содержанием 19,86 и 20,76 % Al_2O_3 и две пробы лучистых кварц-кианитовых сланцев, содержащих 33,24 и 38,0 % Al_2O_3 . В процессе этих исследований разработана схема обогащения, включающая измельчение до 50% класса – 0,074 мм, обесшламливание по классу 30 мкм, удаление сульфидов в голове процесса с использованием бутилового ксантогената и флотацию кианита в содовой среде олеиновой кислотой, а также сделано заключение о хорошей обогатимости светлых и лучистых разновидностей кианитовых руд месторождения [Данилов, 1957].

Затем длительное время Южная линза не изучалась. С тех пор проявление получило статус месторождения, а кианит привлек внимание возможностью его использования в огнеупорной, керамической и авиационной промышленности. Этот объект среди всех российских наиболее подготовлен к освоению. При сравнительных испытаниях в ВИАМ (Москва) установлено, что керамические формы из карельского кианита пригодны после обжига для особо тонкого литья турбинных лопаток самолетных и ракетных двигателей. При температуре 1060° обладают достаточной прочностью, превосходя в три раза прочность подобных материалов, где использовался украинский кианит-силлиманит [Демонис и др., 1990; Карпович и др., 1995]. Работа проводилась по заданию Министерства авиационной промышленности СССР. По понятным причинам исследования прекратились.

Попытка вовлечения месторождения в эксплуатацию была предпринята ООО «ИМК», созданным в 1993 году (один из авторов входил в состав учредителей). По договору с ИМК в 1997 г. норвежская компания Minpro Strassa провела испытания кианита данного месторождения, чтобы определить рыночный уро-

вень продукта. Был получен концентрат с содержанием 60,0 % Al_2O_3 ; 37,1 % SiO_2 ; 0,27 % $Fe_2O_3 + FeO$; 1,4 % TiO_2 ; 0,05 % S. В испытательной лаборатории материалов норвежской компании Elkem проводились тесты на огнеупоры, давшие положительный результат. Опытная добыча кианитовой руды в пилотном карьере № 3 Южной линзы Хизоваарского месторождения осуществлена в 1998 г. силами старательской артели «Карелия» (директор А. Я. Беляев). В рамках этих работ на опытно-промышленной установке ОАО «Апатит» (г. Апатиты) наработана опытная партия кианитового концентрата объемом 23 тонны для последующих технологических испытаний. Однако в 1999 г. работы были прекращены ввиду отсутствия финансирования. Предварительная технологическая оценка кианитового концентрата Хизоваарского месторождения показала, что на его основе могут быть получены противопопригарные материалы для точного литья в авиационной промышленности. ВНИИлитмаш разработал ТУ на противопопригарные покрытия из кианита и технологию их изготовления, ВИАМ – ТУ на кианитовый концентрат для турбинных лопаток, которые были испытаны на заводе «Рыбинские моторы».

Спустя несколько лет ОАО «Гранит» получило лицензию на реализацию инвестиционного проекта «Кианит». Сфера деятельности компании заключалась в выборе инвестиционных объектов, подготовке на их базе проектов по созданию предприятий, производящих нерудные материалы, управлении проектами и привлечении инвестиций для их финансирования. Общая задача информировать потенциальных инвесторов о перспективных планах компании по реализации инвестиционного проекта на базе Хизоваарского месторождения была осуществлена, но реальных шагов не последовало. Таким образом, собственник в конце концов был лишен права обладания лицензией.

Хизоваарская структура Северо-Карельской зеленокаменной области стала одним из полигонов для обобщения материалов по морфогенетическим типам и технологии обогащения кианитовых руд Карельского региона в рамках интеграционного проекта «Развитие минерально-сырьевой базы России: освоение новых источников высокоглиноземистого сырья (минералы группы силлиманита и пирофиллита, каолины, золы и др.)», руководитель проекта академик В. А. Коротеев [Проблемы..., 2010; Небокситовое..., 2011; Огородников и др., 2012, 2013]. Исследования проводились при финансовой поддержке гранта 09-05-12033 оф

и проекта УрО и ДВО РАН 2009–2011 гг., а также в рамках госбюджетных тем ИГГ УрО РАН, ГИ КНЦ РАН и ИГ КарНЦ РАН. От Института геологии КарНЦ РАН участниками проекта были В. В. Щипцов, Л. С. Скамницкая и Т. П. Бубнова.

Итог исследований показан в таблице 1, в которой приводится характеристика объекта Южная линза (рис. 1, 2 и 3).

Геология Хизоваарского рудного поля

Геологическое изучение Хизоваарского рудного поля во многом связано с открытием в нем месторождения кианитовых руд, что было описано П. А. Борисовым и Н. А. Волотовской [1941]. Разные варианты его строения и стратиграфии предложены С. И. Рыбаковым, В. Н. Кожевниковым и другими [Рыбаков, Мельянцева, 1986; Кожевников, 2000; Кожевников и др., 2005]. В этих работах рассматривается геология, последовательность формирования структур, геохимия вулканитов, осадков и некоторых метасоматических процессов. Важным этапом исследований стало обоснование геодинамической модели формирования зеленокаменных поясов северокарельского типа на основе представлений террейновой тектоники с приложением результатов по геохимической типизации магматических пород и изотопно-геохронологическому изучению, полученных Е. В. Бибиковой, В. Н. Кожевниковым, А. В. Самсоновым, А. И. Слабуновым, А. А. Щипанским и другими [Самсонов и др., 2000; Бибикова и др., 2003; Shchipansky et al., 2004 и др.], термодинамическим режимам метаморфизма и разнообразным метасоматическим процессам, детально изученным С. А. Бушминым и В. А. Глебовицким [Бушмин, 1978, 1989; Глебовицкий, Бушмин, 1983; Bushmin, Glebovitsky, 2016]. Геолого-технологическая характеристика рудного поля представлена В. В. Щипцовым с коллегами [Щипцов и др., 1988; Геологическое..., 1990; Огородников и др., 2013; Коротеев и др., 2015].

Хизоваарская структура представляет собой фрагмент Северо-Карельского зеленокаменного пояса, а хизоваарская свита рассматривается в составе тикшеозерской серии лопия [Материалы..., 1982]. В масштабе этой структуры в ее северной части сформировались кианитовые руды, составляющие несколько крупных проявлений, слагающих на площади более 5 кв. км Хизоваарское кианитовое поле. В границах данной площади осуществлены детальные работы по комплексному геологическому исследованию, что положено в основу геоло-

Таблица 1. Характеристика кианитовых руд Хизоваарского месторождения (Южная линза) [Щипцов и др., 1988; Голованов, Щипцов, 2006]

Table 1. Characteristics of kyanite ores from the Khizovaara deposit (Yuzhnaya Lens) [Shchiptsov et al., 1988; Golovanov, Shchiptsov, 2006]

1	Название месторождения Name of deposit	Хизоваарское месторождение кианитовых руд (Лоухский район, Северная Карелия) Khizovaara kyanite ore deposit, Loukhi District, North Karelia
2	Местоположение месторождения Location of deposit	Южная линза – в 12 км юго-восточнее ж/д станции Еловая, связано грунтовой дорогой Yuzhnaya Lens, 12 km south-east of Yelovaya Railway Station, connected by an earth road
3	Количество запасов промышленных категорий Amount of reserves, industrial categories	V+C, 2881 тыс. т (руда) P ₁ +P ₂ 16378 тыс. т (руда) V+C, 2881 thousand tons (ore) P ₁ +P ₂ 16378 thousand tons (ore)
4	Дата и место защиты ТЭО кондиций и запасов промышленных категорий Date and venue of reporting the results of a feasibility study on conditions and reserves of industrial categories	Протокол ВКЗ № 8578 от 14 декабря 1953 г. (Москва) VKZ Protocol # 8578 of 14 December, 1953, Moscow
5	Перечень документации по месторождению: • ТЭО List of documents on the deposit: • feasibility study	Отчет о детальной разведке с подсчетом запасов. 1954 г. Геолфонд, Москва Report on detailed prospecting with estimation of reserves. 1954. Geolfond, Moscow
6	Инфраструктура месторождения • электроэнергия • газ • ж/д • автодороги • водоснабжение Deposit infrastructure • Electrical power • gas • railway • highway • water supply	ЛЭП по прямой около 8 км (если модульную фабрику размещать близ карьера, то используются дизель-агрегаты) Привозной 12 км от карьера Объект связан с грунтовой дорогой В 500–1000 м береговая линия озера ~8 km long electrical power line (if a modulus assembly is installed near the quarry, then diesel aggregates are used) Supplied from other areas 12 km from the quarry There is an earth road leading to the deposit Lake shoreline is 500–1000 m away
7	Геологический тип месторождения Geological type of deposit	Метаморфогенно-метасоматический Metamorphogenetic-metasomatic
8	Рудные тела • условия залегания • форма • размеры • контакты с вмещающими породами Ore bodies • mode of occurrence • shape • size • contacts with host rocks	На участке «Южная линза» 6 залежей, глубина более 150 м. Мощность наносов от 1 до 6 м Линзообразные От 40 до 100 м, средняя 55 м, протяженность 950 м Резкие At South Lens prospect 6 bodies, depth is over 150 m. Detritus is 1–6 m thick Lenticular 40 to 100 m, average 55 m, length 950 m Sharp
9	Минеральный состав, в % Mineral composition, %	2 типа руд: первый тип – кварц 70–85 %, кианит 10–25 % (главные); мусковит, плагиоклаз, биотит, графит, тальк (второстепенные); пирит 0–10 %, пирротин, магнетит (рудные); рутил, апатит, сфен, гранат (акцессорные); второй тип – кварц 50–60 %, кианит 10–40 % (главные); мусковит, графит (второстепенные); пирит 0–10 %, пирротин, арсенопирит (рудные); рутил (акцессорные) 2 types of ores: in type I quartz makes up 70–85 % and kyanite 10–25 % (major); muscovite, plagioclase, biotite, graphite, talc (minor); pyrite 0–10 %, pyrrhotite, magnetite (ore); rutile, apatite, sphene, garnet (accessory); in type II quartz makes up 50–60 % and kyanite 10–40 % (major); muscovite, graphite (minor); pyrite 0–10 %, pyrrhotite, arsenopyrite (ore); rutile (accessory)

Окончание табл. 1

Table 1 (continued)

10	Химический состав руд Chemical composition of ores	Средний состав кианитсодержащих руд, вес. %: SiO ₂ 69,90; TiO ₂ 0,57; Al ₂ O ₃ 20,36; Fe ₂ O ₃ 4,16; FeO 0,43; MnO 0,01; MgO 0,31; CaO 0,63; Na ₂ O 0,47; K ₂ O 0,14 Average composition of kyanite-bearing ores, wt. %: SiO ₂ 69.90; TiO ₂ 0.57; Al ₂ O ₃ 20.36; Fe ₂ O ₃ 4.16; FeO 0.43; MnO 0.01; MgO 0.31; CaO 0.63; Na ₂ O 0.47; K ₂ O 0.14
11	Геолого-минералогические сорта руд Geologo-mineralogical ore grades	Светло-серые с игольчатым кианитом (91 % всего объема) и серые до стально-серых с лучистым (сноповидным радиально-лучистым) кианитом Light-grey with acicular kyanite (91 % of total volume) and grey to steel-coloured-grey with radiated (sheaf-like radiated) kyanite
12	Технологические сорта руд Technological ore grades	Светло-серые игольчатые кварц-кианитовые и серые лучистые кварц-кианитовые Light-grey acicular quartz-kyanite and grey radiated quartz-kyanitic
13	Способы отработки <ul style="list-style-type: none"> • взрыв, экскаваторный • коэффициент вскрыши т/т • % разубоживания для выбранного способа добычи Quarrying method <ul style="list-style-type: none"> • (blast, excavator) • overburden coefficient t/t • % impoverishment for the quarrying method chosen 	Руда по крепости (шкала буримости) – VIII категория. Отработка целесообразна многоступным карьером с оставлением целика на опасных участках. Гидрогеологические условия относительно усложненные Взрывной 1,85 10 Ore strength (drillability scale) – category VIII. Multi-bench quarrying with a pillar left in unreliable places is recommended. Relatively complex hydrogeological conditions. Blasting 1.85 10
14	Способ подготовки к обогащению (размер фракции руды на входе и выходе рудоподготовки) Pre-dressing method (ore dressing input and output ore fraction size)	Средний размер зерен кианита 3,3 мм, преобладающий размер зерен кианита 0,5–7 мм, класс раскрытия кианита 0,16–0,1 мм Average kyanite grain size is 3.3 mm, predominant kyanite grain size is 0.5–7 mm, kyanite opening class is 0.16–0.1 mm
15	Способ обогащения Dressing method	Флотация Flotation
16	Коэффициент извлечения кианита по принятой для месторождения схеме обогащения Kyanite extraction coefficient consistent with the dressing scheme accepted for the deposit	Извлечение кианита в концентрат Extraction of kyanite to concentrate – 65–70 %
17	Виды готовой продукции <ul style="list-style-type: none"> • основной концентрат • попутные концентраты Types of finished products <ul style="list-style-type: none"> • basic concentrate • associated concentrates 	Кианитовый Кварцевый и пиритовый Kyanitic Quartz and pyritic
18	Характеристика по видам готовой продукции <ul style="list-style-type: none"> • химический состав • минеральный состав • фракционный состав • влажность • объемный вес Characteristics of the types of finished products <ul style="list-style-type: none"> • chemical composition • mineral composition • fractional composition • moisture content • volume weight 	Al ₂ O ₃ не менее 55 %, SiO ₂ не менее 40 %, Fe ₂ O ₃ +FeO не более 0,5 %, TiO ₂ не более 1,20 %, F не более 0,1 %, S не более 0,3 % Кианит не менее 90 %, кварц 5–10 %, слюда не более 1,5 %, полевой шпат и прочие менее 0,5 % Гранулометрический состав менее 315 μm Не более 1 % 3,6 г/см ³ Al ₂ O ₃ at least 55 %, SiO ₂ at least 40 %, Fe ₂ O ₃ +FeO no more than 0.5 %, TiO ₂ no more than 1.20 %, F no more than 0.1 %, S no more than 0.3 %; Kyanite at least 90 %, quartz 5–10 %, mica no more than 1.5 %, feldspar and others less than 0.5 % Particle size composition is less than 315 μm No more than 1 % 3.6 g/cm ³



Рис. 1. Юго-восточный борт опытного карьера № 3 (залежь № 4, Южная линза)

Fig. 1. Southeastern flank of experimental quarry # 3 (Body 4, Yuzhnaya Lens)

гической карты кианитового поля в масштабе 1:10 000 (рис. 2) [Щипцов и др., 1988].

В геологическом строении рассматриваемой площади участвуют комплексы осадочно-вулканогенных и осадочных пород, представленные метаморфизованными туффитами андезитов и дацитов, граувакками, метапесчаниками, кремнистыми туффитами, хемогенными кварцитами и другими разновидностями, связанных в той или иной степени с неoarхейским вулканизмом. К реперам геологических процессов относятся обособленные вулканогенные формации. Устанавливается следующая последовательность с северо-запада на юго-восток по разрезу: нижняя коматиит-базальтовая, дацит-андезитовая, дацит-риолитовая и верхняя коматиит-базальтовая формации. Метабазальты соответствуют толеитовым сериям, метаандезиты – образованиям промежуточных между толеитовой и известково-щелочной сериями, а метадациты и метариолиты тяготеют к известково-щелочной ветви. Подобные вещественные соотношения иллюстрируют гетерогенность сопряженных комплексов, что подчеркивается преобладанием в одном вулканическом цикле толеитовых серий в ниж-

них частях разреза со сменой в верхних на известково-щелочные. К. Condie [1982] объяснял это явление особенной закономерностью архейских зеленокаменных поясов.

В практическом отношении особое значение имеют два горизонта глиноземистых сланцев. Первый (нижний) высокоглиноземистый горизонт пространственно связан с андезитами и туффитами андезитового состава. Несмотря на то что в докембрии не могло быть полнопрофильных кор латеритного выветривания, здесь устанавливаются по косвенным признакам наземные коры выветривания, представленные химически дифференцированными кластогенными кварцито-метапесчаниками Хизоваарского рудного поля, а глиноземистые минералы являются дериватами каолинита [Щипцов и др., 1988]. Метаморфизм условий высоких давлений и средних температур оказал влияние на формирование химически дифференцированных метаморфических пород, в значительной степени метасоматически измененных и превращенных в такие локальные комплексы, как хизовариты [Глебовицкий, Бушмин, 1983]. Существование коры выветривания в андезитовой части разреза позволяет говорить о не-

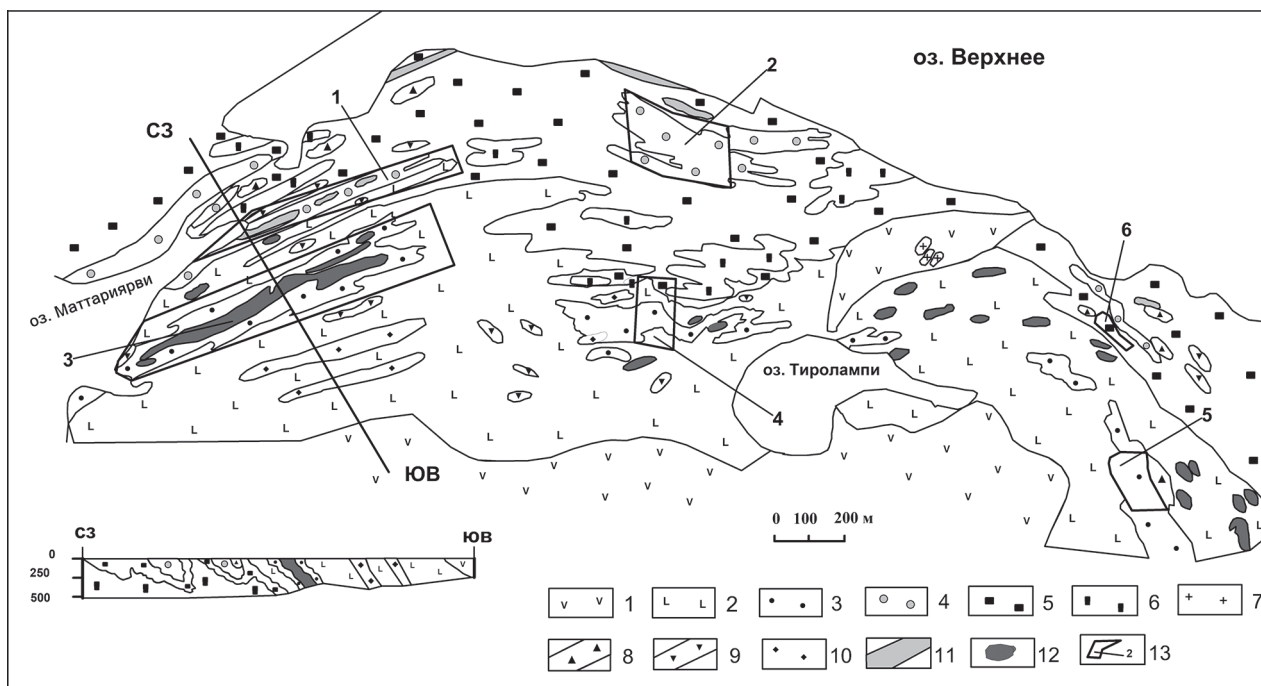


Рис. 2. Геологическая карта Хизоваарского кианитового поля с использованием основы [Щипцов и др., 1988]:

1 – metabasalts; 2 – осадочно-вулканогенные породы дацитового и риодацитового составов; 3 – верхний высокоглиноземистый горизонт; 4 – нижний высокоглиноземистый горизонт; 5 – осадочно-вулканогенные породы андезитового и дацит-андезитового составов; 6 – метаандезиты. Дайковые комплексы: гранит (7); риодациты и дациты (8); габбро-диабазы (9); высокомагнезиальные габбро (10); габбро-амфиболиты (11); метасоматиты: силициты (12); 13 – номера участков: Северная линза (1), Восточная линза (2); Южная линза (3), Фукситовый (4), Восточный – 2 (5); Междозерное (6)

Fig. 2. Geological map of the Khizovaara Kyanite Field based on [Shchiptsov et al., 1988]:

1 – metabasalts; 2 – sedimentary-volcanic rocks of dacite and rhyodacite composition; 3 – upper high-alumina horizon; 4 – lower high-alumina horizon; 5 – sedimentary-volcanic rocks of andesite and dacite-andesite composition; 6 – metaandesites. Dike complexes: granite (7); rhyodacites and dacites (8); gabbro-diorites (9); high-Mg gabbro (10); gabbro-amphibolites (11); metasomatic rocks: silicites (12); 13 – prospect number: Severnaya Lens (1), Vostochnaya Lens (2); Yuznaya Lens (3), Fuchsite (4), Vostochnaya – 2 (5); Mezhozernoye (6)

котором перерыве между периодами андезитового и дацитового вулканизма.

Второй (верхний) высокоглиноземистый продуктивный кианитовый горизонт выделен в составе грауваккового ряда. Источником высокоглиноземистых минералов являются алюмокремнистые осадочные породы, значительная часть которых может представлять плохо отсортированный обломочный материал ниже лежащих пород дацит-андезитовой формации. Андезиты, подвергаясь первоначальному экзогенному воздействию, претерпели последовательную эндогенную переработку и явились источником накопления глинозема (рис. 2).

Полученные данные при исследовании особенностей формирования кианитовых руд Хизоваарского поля подтверждают, что разновременные метасоматические процессы могут пространственно совмещаться. Метасоматоз играет важнейшую роль в становлении минеральных систем, потенциально определяемых на промышленный кианит, на чистоту которого

оказывает влияние природная «лаборатория». В природе кианит может образовываться различными путями. Месторождения и проявления Хизоваарского рудного поля относятся к формации регионально-метаморфических кианитовых сланцев и ассоциирующей с ними формации алюмокремниевых метасоматитов, обусловленной кислотным выщелачиванием при процессах постмигматитового метасоматоза [Щипцов и др., 1988; Огородников и др., 2012; Коротеев и др., 2015].

К настоящему времени фактические материалы позволяют говорить о многоэтапном проявлении регионального метаморфизма. Региональный метаморфизм и ультраметаморфизм неархейских пород сопровождается формированием метаморфогенных рудообразующих систем. Метаморфизм раннего этапа (из документируемых) проявлен в условиях гранат-кианит-биотит-ортоклазовой субфации с переходом к ставролит-жедрит-кианитовой и гранат-кианит-биотит-мусковитовой суб-

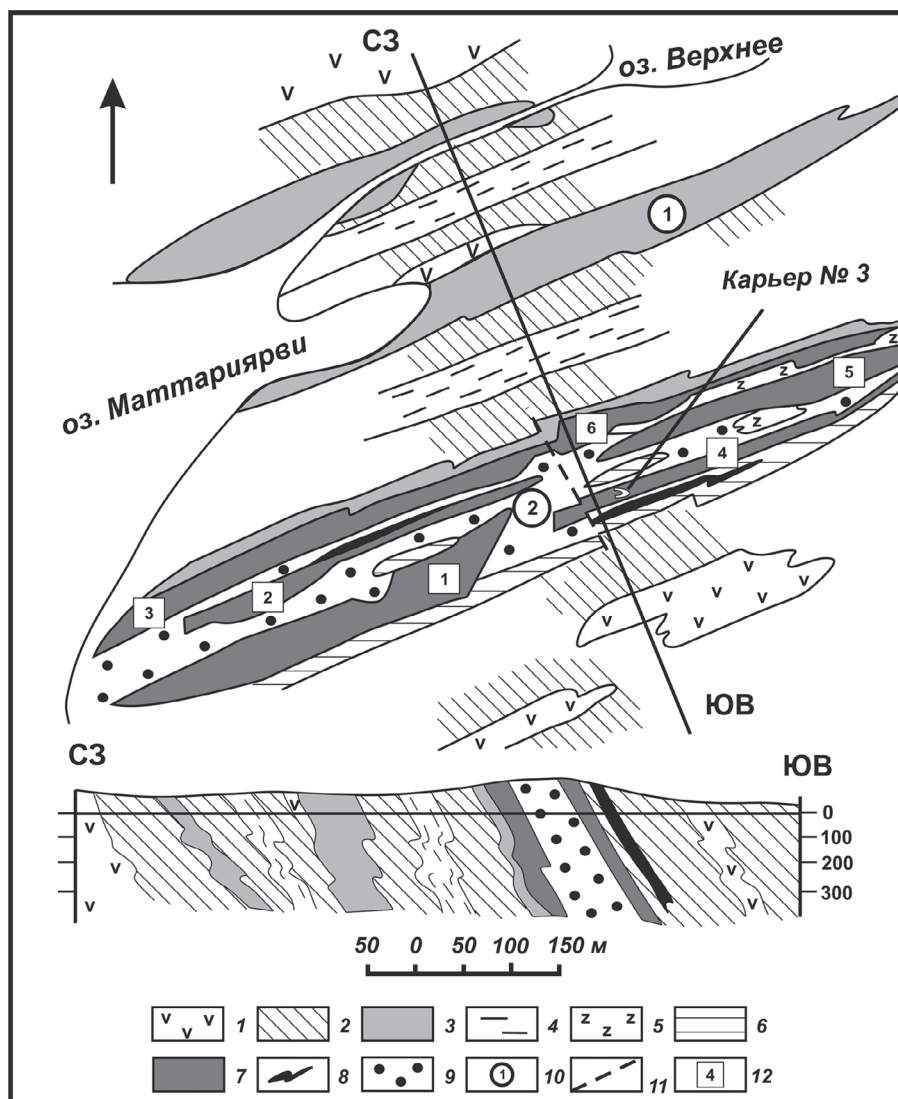


Рис. 3. Геологическая схема участка Маттариярви:

1 – амфиболиты; 2 – амфибол-биотитовые сланцы; 3 – кианит-биотитовые гнейсы (первый высокоглиноземистый горизонт); 4 – слюдястые сланцы; 5 – кианит-полевошпатовые кварциты; 6 – амфибол-кианит-ставролитовые метасоматиты; 7 – кианитовые кварциты (второй высокоглиноземистый горизонт); 8 – графит-кианитовые кварциты; 9 – мусковитизированные кианитовые кварциты; 10 – Северная линза (1); Южная линза (2); 11 – разрывные нарушения; 12 – номер залежи Южной линзы

Fig. 3. Geological scheme of the Mettarijärvi prospect:

1 – amphibolites; 2 – amphibole-biotite schists; 3 – kyanite-biotite gneisses (high-alumina horizon I); 4 – mica schists; 5 – kyanite-feldspar quartzites; 6 – amphibole-kyanite-staurolite metasomatic rocks; 7 – kyanitic quartzites (high-alumina horizon II); 8 – graphite-kyanite quartzites; 9 – muscovitized kyanite quartzites; 10 – Severnaya Lens (1); Yuzhnaya (2); 11 – faulting; 12 – Yuzhnaya Lens body number

фациям кианит-силлиманитовой фациальной серии B_2 , по В. А. Глебовицкому [1973], когда в исходных алюмосиликатных породах кианит формируется как один из главных породообразующих минералов. В благоприятной обстановке (при содержании глинозема в первичной породе более 24 %) могут формироваться значительные скопления кианита, которые при

достаточной мощности и протяженности оцениваются как перспективные промышленные.

В метаморфических породах данной структуры развиты кислые и основные метасоматиты при средних температурах (450–600 °C) и высоких давлениях (5–8 кбар), определенные В. А. Глебовицким и С. А. Бушминым как хизовариты – глубинные аналоги скелей [Глебовицкий,

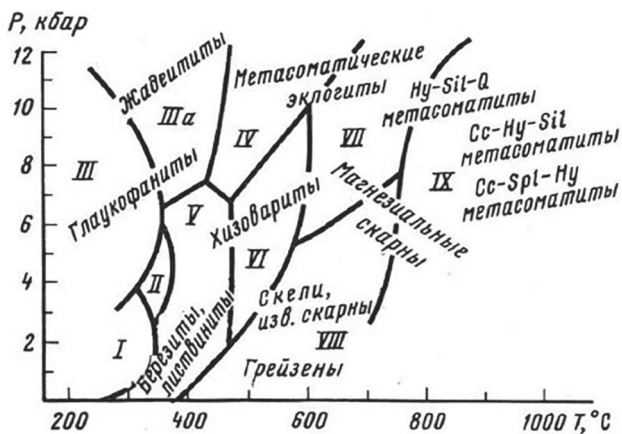


Рис. 4. Схема фаций и условия образования главных формационных типов метасоматитов, связанных с региональным метаморфизмом, по: [Бушмин, 1989; Бушмин, Глебовицкий, 2008].

Фации метаморфизма: I – цеолитовая; II – пумпелиит-актинолитовая; III – глаукофан-лавсонитовая; IIIa – глаукофан-гранатовая; IV – кварц-цоизит-кианитовая; V – зеленосланцевая; VI – эпидот-амфиболитовая; VII – куммингтонит-амфиболитовая; VIII – альмандин-амфиболитовая; IX – гранулитовая

Fig. 4. Scheme of facies and the conditions of formation of the major facies types of metasomatic rocks produced by regional metamorphism, after: [Bushmin, 1989; Bushmin, Glebovitsky, 2008].

Metamorphic facies: I – zeolitic; II – pumpellyitic-actinolitic; III – glaucophane-lawsonitic; IIIa – glaucophane-garnet; IV – quartz-zoisitic-kyanitic; V – greenschist; VI – epidote-amphibolitic; VII – cummingtonitic-amphibolitic; VIII – almandine-amphibolitic; IX – granulitic

Бушмин, 1983; Бушмин, 1989; Бушмин, Глебовицкий, 2008] (рис. 4). К хизоваритам относятся глубинные метасоматиты роговообманково-гранат-ставролит-кианит-кварцевого и роговообманково-ставролит-гранатового состава и кислотные метасоматиты, содержащие избыточный кремнезем с обогащенным алюминием.

Кислотные метасоматиты Хизоваарской структуры на определенных площадях формировались в условиях кварц-кианитовой

и кварц-мусковитовой фаций метасоматоза средних температур и повышенных давлений с высокой активностью летучих, что приводит к устойчивости других минералов, например, пирита и турмалина. Метасоматиты являются следствием подвижности компонентов и изменения минеральной системы.

На Хизоваарском рудном поле локализованы три типа природных руд с промышленным кианитом – метаморфический, метаморфогенно-метасоматический и метасоматический, каждый из которых имеет свои морфогенетические особенности (рис. 5). Они различаются по минеральному, гранулярному составу и характеру сростаний. Возможно пространственное совмещение разновременных метасоматических процессов. В частности, образование радиально-лучистой разновидности кианита в руде связано с наложенным метасоматизмом той же фации щелочности-кислотности.

Таким образом, три типа выделенных руд зависят от термодинамических условий их формирования. Метаморфогенно-метасоматический тип занимает промежуточное положение, при котором минеральные агрегаты формируются с помощью неполного метасоматического механизма, сохраняя частично признаки метаморфических пород. В полигенной и полихронной системе Хизоваарского рудного поля происходило формирование метаморфического и метасоматического кианита [Щипцов, 2018; Nikiforov, Bubnova, 2018].

Нами выделены три активных фактора контроля оруденения: литостратиграфический, метаморфический (метаморфогенно-метасоматический) и структурный [Щипцов и др., 1988; Огородников и др., 2012; Shchiptsov, Nikiforov, 2016].

Структурный план Хизоваарского кианитового поля аналогичен ряду полей мусковитовых пегматитов Северной Карелии. Л. Л. Гродницкий с коллегами [1985] указали, что локальный

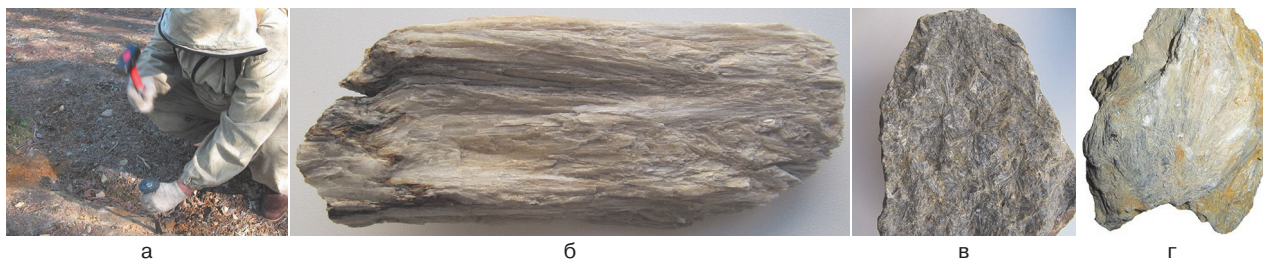


Рис. 5. а) кианитовый сланец (Северная линза); б) игольчатый кианит (Южная линза); в) радиально-лучистый кианит (Южная линза); г) сноповидно-игольчатый кианит (Южная линза)

Fig. 5. а) kyanite schist (Severnaya Lens); б) acicular kyanite (Yuzhnaya Lens); в) radiated kyanite (Yuzhnaya Lens); г) sheaf-like-acicular kyanite (Yuzhnaya Lens)

поисковый структурный критерий для мусковитовых пегматитов представляет собой сопряжение в пространстве двух возрастных групп структур – ранних субширотных с наклонными осевыми поверхностями и поздних субмеридиональных (и северо-западных) с преимущественно крутыми осевыми поверхностями.

Главная особенность Хизоваарского кианитового поля выражается в сочетании ранней Верхнеозерской синформы с осевой поверхностью субширотного простираения при относительно пологих углах погружения и наложенной Хизоваарской синформой с крутопадающими осевыми плоскостями субмеридионального простираения [Щипцов и др., 1988].

Рудные кислотные метасоматиты участка Южная линза обнаруживают определенную пространственную связь со структурами субширотного простираения и залегают согласно плоскостям сланцеватости. Образование метаморфогенных кианитовых тел оторвано значительным промежутком времени от более поздней стадии кислотного выщелачивания. Нашими исследованиями показано, что на участках Фукситовый и Восточный-2 рудные проявления тяготеют к развитию более молодых структур, синхронных молодой Хизоваарской синформе. В этих зонах широко развит наложенный кливаж параллельно осевым плоскостям молодых складчатых структур. Например, на участке Фукситовый образуется наложенная сланцеватость северо-западного простираения. Кварц-кианитовые ассоциации прерывисто-прожилкового типа распространены в узкой зоне наложенной складчатости и используют как новые плоскости, так и деформируемые плоскости главной структуры. Формирование субмеридиональных структур на Хизоваарской площади относится к свекофеннскому этапу, что еще раз подчеркивает аналогию

с пегматитовой формацией [Щипцов и др., 1988; Щипцов, 2011; Shchiptsov, 2014]. Результаты U-Pb датирования по цирконам на участке Фукситовый дали возраст 1800 ± 7 млн лет [Сергеев, Лобач-Жученко, 1993].

Результаты минералого-технологических исследований

К главным факторам, обуславливающим возникновение глиноземистых месторождений и проявлений, относится, наряду с концентрацией вещества, многоэтапность их преобразования, сопровождающаяся концентрацией полезного компонента, выделение его в соответствующей минеральной форме с определенными физическими свойствами, размерами кристаллов, чистотой кристаллической решетки и т. д. [Небокситовое..., 2011; Коротеев и др., 2015].

Исследования вещественного состава и технологических свойств кианитовых руд Хизоваарского месторождения проводились в разные годы сотрудниками разных учреждений – института «Механобр», Института геологии КарНЦ РАН, Горного института КНЦ РАН и других организаций.

В процессе этих исследований выявлены генетические типы руд, отличающиеся по вещественному, гранулярному составу и характеру кристаллизации кианита. Получены данные о том, что сумма примесей в кианите, исключая гигроскопическую влажность и потери при прокаливании 1,72–2,47 %, приходится на долю TiO_2 и Fe_2O_3 . Значительное количество связано с микроскопическими пойкилобластами рутила, плагиоклаза и мельчайших зерен пирита, которые не удаляются при обогащении. Микроминеральные включения в кианите изображены на рис. 6.

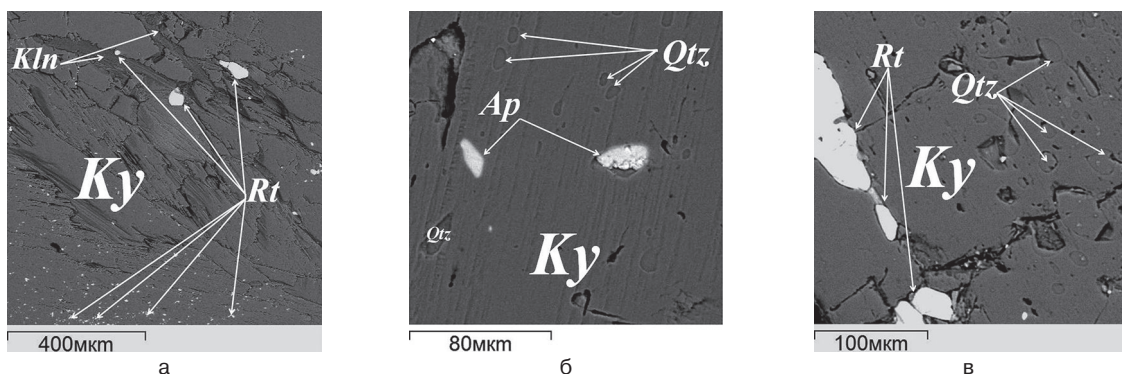


Рис. 6. Микроминеральные включения в кианите Южной (а), Северной (б) и Восточной (в) линзы: Ky – кианит; Rt – рутил; Zrn – циркон; Kln – каолинит; Qtz – кварц. Изображение СЭМ VEGA II LSH

Fig. 6. Micromineral inclusions in kyanite of the Yuznaya (a), Severnaya (б) and Vostochnaya (в) Lenses: Ky – kyanite; Rt – rutile; Zrn – zircon; Kln – kaolinite; Qtz – Quartz. Image SAM VEGA II LSH

Анализ взаимосвязи вещественного состава и технологических показателей обогащения кианитовых руд указывает на отсутствие однозначной связи между содержанием полезного компонента в руде и его технологическими показателями: концентраты светло-серых руд с игольчатым кианитом содержат 55,5–56,0 % Al_2O_3 , концентраты серых руд с радиально-лучистым кианитом – 58 %.

В зернах кианита присутствуют валентно и координационно ненасыщенные атомы алюминия, размещение которых для кианита трех разновидностей отличается разной степенью упорядочения. На рис. 7 показано, что наиболее высокочастотная часть спектра близка у кианитов светло-серой и темно-серой окраски, голубой кианит по ИК-спектру имеет существенное отличие в силикатной части, структурирован и обладает более совершенной упаковкой [Щипцов и др., 1988].

Геохимия редких элементов кианита достаточно выдержана для всех анализируемых образцов. На рис. 8 приведены типовые мультиэлементные диаграммы для кианитов ряда изученных объектов. Уровень концентрации

большинства элементов в сравниваемых кианитах отличается не более чем на порядок. При этом топология спектров распределения редких элементов имеет схожий характер, с отчетливо проявленными максимумами по Th, Hf, Tb и Tm: обр. 3042 – кианит из кианит-гранат-амфибол-мусковит-полевошпатовой породы, участок Межозерный; обр. 3043 – кианит-кварц-мусковитовый сланец, Фукситовый участок; обр. 237/86 – кианит из кианит-двухслюдяных сланцев, Северная линза; обр. 181 – кианит из кианит-гранатовых сланцев, Высота-181 [Щипцов, 2011].

Микронзондовые исследования различных морфологических типов кианита в руде показали, что составы игольчатых и лучистых кианитов не отличаются от стехиометрического: содержание Al_2O_3 – 63,45–63,81 %, SiO_2 – 36,19–36,36 %. Встречаются также выделения кианита с пониженным содержанием алюминия. Среди радиально-лучистых разновидностей кианитов повсеместно присутствуют реликты каолинита, что косвенно подтверждает гипотезу Н. А. Волотовской [Волотовская, Жиров, 1948] и данные поздних исследований

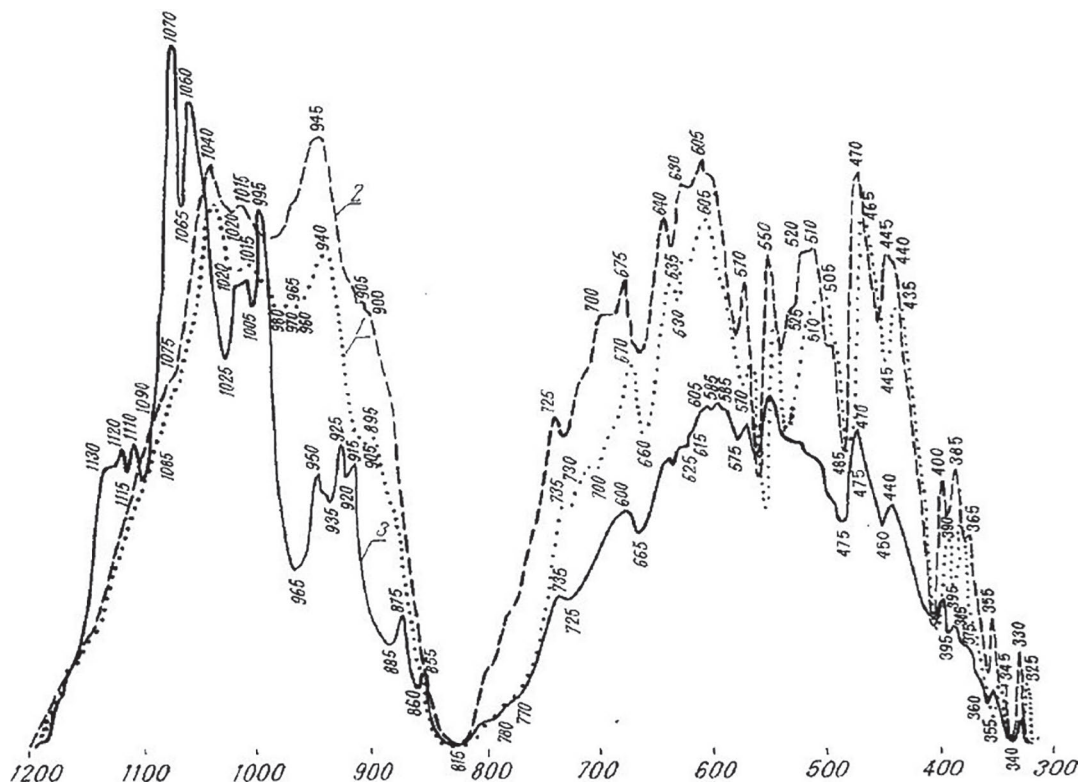


Рис. 7. ИК-спектры кианита:

1 – серого (игольчатый, Южная линза, карьер № 3); 2 – темно-серого (радиально-лучистый, Южная линза, карьер № 3); 3 – голубого цвета (таблитчатый, Фукситовый участок)

Fig. 7. IR kyanite spectra:

1 – grey (acicular, Yuzhnaya Lens, quarry # 3); 2 – dark-grey (radiated, Yuzhnaya Lens, quarry # 3); 3 – sky-blue colour (tabular, Fuchsite prospect)

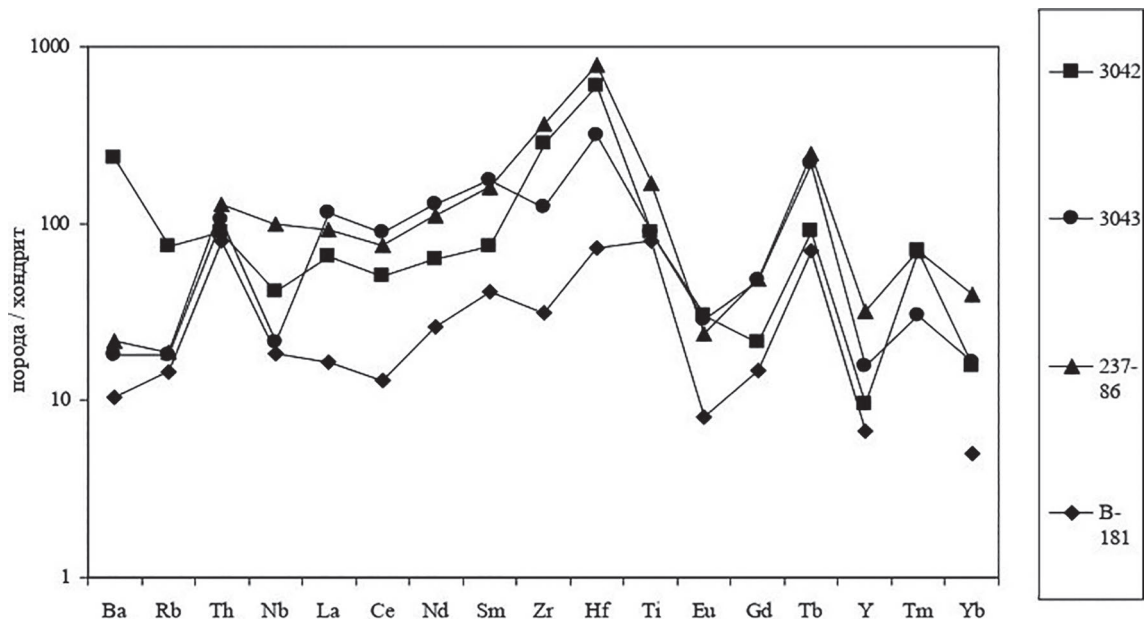


Рис. 8. Мультиэлементные диаграммы для кянитов Хизоваарского рудного поля. Нормализовано по хондриту [Thompson, 1982]. Содержание редких элементов определено в аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН методом ICP-MS в соответствии с методикой [Светов и др., 2015]

Fig. 8. Multi-element diagrams for the Khizovaara Ore Field kyanites. Chondrite-normalized [Thompson, 1982]. Trace elements were identified in the Analytical Laboratory at the IG KarRC, RAS, by the ICP-MS method in a regime [Svetov et al., 2015]

[Скамницкая и др., 2008] о генетической связи кянита с исходной глинистой толщей (рис. 9).

Технологии обогащения кянитовых руд

В обогащении кянитовых руд пока наибольшее значение имеет флотация, применяемая самостоятельно либо в комбинации с магнитной сепарацией или гравитацией [Данилов,

1957; Алексеев, 1976, 1980; Каменева, Скамницкая, 2003].

Достаточно детально исследования по технологии обогащения руд Хизоваарского кянитового поля раскрыты в двух работах [Каменева, Скамницкая, 2003; Огородников и др., 2013]. Во второй из указанных монографий содержится целый раздел под авторством Л. С. Скамницкой и Т. П. Бубновой, посвящен-

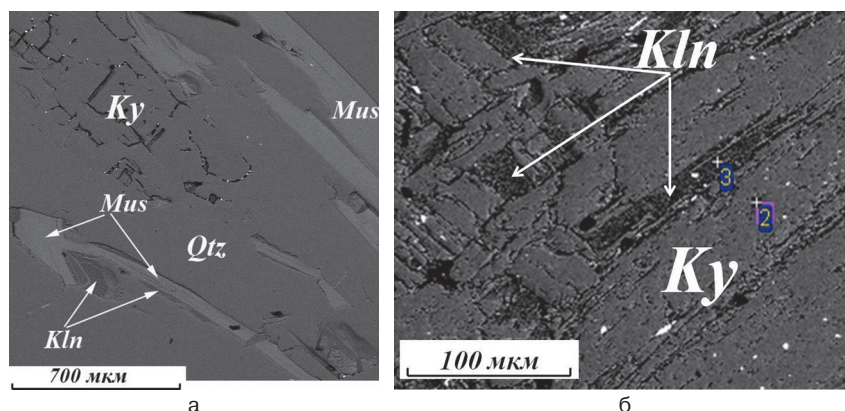


Рис. 9. Морфоструктурные особенности каолинита (а) и каолинизация кянита (б), Восточная линза:

Ку – кянит, Qtz – кварц, Mus – мусковит, Kln – каолинит. Изображение СЭМ VEGA II LSH (анализатор INCA Energy 350, ускоряющее напряжение 20 kV, ток зонда 350 pA). На фрагменте б: точка 2 – кянит, точка 3 – каолинит

Fig. 9. Morphostructural characteristics of kaolinite, Vostochnaya Lens:

Ky – kyanite, Qtz – quartz, Mus – muscovite, and Kln – kaolinite. VEGA II LSH scanning electron microscope (INCA Energy 350 analyzer, accelerating voltage 20kV, probe current 350 pA). In frag. b: point 2 – kyanite, point 3 – kaolinite

ный последовательным этапам исследований и результатам обогащения кианитовых руд, в частности, месторождения Южная линза.

Пределы колебаний содержания Al_2O_3 в изученных рудах Хизоваарского рудного поля имеют широкий диапазон – от 9 до 38 %. В процессе длительного технологического изучения анализировались возможные варианты схем обогащения, различные методы обогащения и типы флотационных реагентов. В отдельных случаях нарабатывались опытные лабораторные и полупромышленные партии кианитовых концентратов для оценки их пригодности в производстве огнеупоров и силумина.

Основными минералами у всех генетических типов руд, удаляемыми при обогащении, являются кварц, пирит, рутил, распределенные в массе породы крайне неравномерно.

Реагентный режим флотации кианита, основанный на применении сульфоната, включал (расход реагентов, г/т):

– цикл сульфидной флотации: бутиловый ксантогенат – 150, аэрофлот – 150;

– цикл кианитовой флотации: сульфонат – 900, серная кислота – 680–810.

В этом реагентном режиме на опытно-промышленной установке Горного института КНЦ РАН наработано 10 т концентрата с содержанием глинозема 56–57 % при извлечении 60 % [Каменева, Скамницкая, 2003].

Флотация кианита, основанная на применении сульфонатов, обеспечивает получение концентрата, содержащего 55,0–58,0 % Al_2O_3 , при извлечении 67,6 % Al_2O_3 в лабораторных условиях.

При обогащении кианитсодержащей руды с применением олеиновой кислоты в щелочной среде, создаваемой содой, получены концентраты, содержащие 55,5–60,0 % Al_2O_3 , при более высоком уровне технологического извлечения – до 80 % (табл. 2 и 3).

Следует отметить, что во всех испытаниях значительно пиритизированные кианитовые руды оставались вне зоны технологического изучения. Данная задача была поставлена и выполнена группой обогатителей Института

Таблица 2. Химический состав обогащаемой руды и партии кианитового концентрата

Table 2. Chemical composition of the ore dressed and a batch of kyanite concentrate

Продукт Product	Содержание, % по массе Content, mas. %								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O+K ₂ O	п.п.п. Loss on ignition	S
Руда Ore	62,00	0,84	26,80	5,65	0,39	0,35	0,60	1,48	3,95
Концентрат кианитовый Kyanite concentrate	39,22	1,29	56,67	0,62	0,45	0,63	0,19	0,89	0,18

Таблица 3. Характеристика технологических проб по опытным карьерам Южной линзы

Table 3. Characteristics of industrial samples from experimental quarries in South Lens

Залежь, карьер Body, quarry	Номер пробы Sample no	Интервал опробования, м Sampling interval, m	Содержание Al_2O_3 в руде Al_2O_3 content of ore	Морфология кианита Kyanite morphology	Содержание Al_2O_3 в концентрате Al_2O_3 content of concentrate
Залежь 4, карьер 3 Body 4, Quarry 3	X-1	15	14,68	Игольчатый Acicular	56,59
	X-2	8	28,84	Радиально-лучистый Radiated	55,89
	X-3	5	18,61	Игольчатый Acicular	56,90
Залежь 2, карьер 2 Body 2, Quarry 2	X-4	8	32,30	Радиально-лучистый Radiated	56,98
	X-5	6	18,36	Игольчатый Acicular	56,49
	X-13	4	28,41	Смешанный Mixed	57,57
Залежь 1, карьер 1 Body 1, Quarry 1	X-6	15	17,70	Игольчатый Acicular	56,21

геологии КарНЦ РАН. На стадии ревизионно-опробовательских работ оценены все разновидности кианитовых руд, включая сильно пиритизированные, относимые к забалансовым. Технологические пробы отобраны по трем опытным карьерам и разведочным канавам Южной линзы.

Для флотации силикатов наиболее часто используются анионные реагенты – жирные кислоты и их соли. Одним из существенных свойств силикатов, оказывающих большое влияние на их взаимодействие с анионным собирателем, является значительная сложность и изменчивость их катионного состава в результате образования изоморфных замещений в процессе рудообразования.

Изучение особенностей структуры, состава и морфологии кианита из пород различных генетических типов ряда объектов, а также включений в кианите показало, что содержание микроскопического рутила (в кианите из метасоматических руд) и графитизация метаморфических образований значительно ухудшают обогатимость кианитовой руды. Разработано технологическое решение по направленному изменению свойств минералов. Показано, что ультразвуковая обработка пульпы перед обесшламливанием позволяет удалить высвободившиеся зерна рутила со сливом крупностью до 40 мкм и повысить качество флотационного концентрата, снижая содержание TiO_2 в нем до 0,7–1,1 % [Огородников и др., 2013].

Установлено, что количество адсорбированных на поверхности кианита кварца и силикатов катионов и гидроокислов многовалентных металлов определяет эффективность закрепления собирателя, особенно анионного. Наличие катионов многовалентных металлов в водной фазе пульпы приводит к частичному переводу жирных кислот во флотационно менее активные мыла многовалентных металлов.

Ввиду большой близости свойств силикатов эффективность их разделения в значительной степени определяется собирателем. Выбор собирателя для селективной флотации силикатов определяет принципиальную схему обогащения, способ подготовки пульпы к селективной флотации. Жирные кислоты и их соли (олеиновая кислота, олеат натрия и др.) наиболее часто используются при флотации силикатов. Они обеспечивают получение высоких показателей разделения, но чувствительны к жесткости воды, катионному составу пульпы и ее температуре. С понижением температуры растворимость их падает, а при $T = 14\text{ }^\circ\text{C}$ они не растворяются.

Схема флотации кианита жирнокислотными собирателями состоит из 4–5 циклов. Часто флотации предшествует магнитная, электрическая сепарация или гравитация [Каменева, Скамницкая, 2003].

В отечественной и зарубежной литературе сообщается об успешном применении микробиологических методов в технологии обогащения и гидрометаллургической переработки руд и концентратов, содержащих алюминий [Аренс, 2001; Теляков и др., 2016].

Маркетинговые исследования

Кианит в качестве конечного продукта используется в следующих направлениях огнеупорного производства [Щипцов, 2005; Огородников и др., 2012]:

- прецизионное литье;
- добавки в некоторые плавнелитые огнеупоры и монокристаллические материалы для контроля за расширением;
- наполнитель трещин из-за свойств расширения;
- в комплектующих для печей обжига и сушки (несущие элементы литья, печные стенки и т. п.);
- при производстве стальных компонентов аэродинамической поверхности;
- контроль за расширением в керамике;
- как компенсатор сокращения в огнеупорных керамических кирпичах;
- сырье для производства природного и синтетического муллита.

Во многих случаях кианит перед использованием в огнеупорах плавится или кальцинируется. Сырой кианит используется преимущественно в огнеупорах как компенсатор сжатия других ингредиентов. Это основная область применения тонкозернистого кианитового флотоконцентрата.

В настоящее время широкое применение находят оксинитридные соединения на основе системы «металл – кремний – алюминий – кислород – азот» (сиалоны).

Карельский кианит может обеспечить все потребности огнеупорной промышленности России. В этом направлении сотрудниками ИГ КарНЦ РАН подготовлен целый ряд публикаций [Демонис и др., 1990; Гаранжа, Заверткин, 2005; Заверткин и др., 2005, 2018; Лебедева, Инина, 2005; Скамницкая и др., 2008; Проблемы..., 2010; Заверткин, Щипцов, 2018 и др.].

Остается важным и вопрос о производстве керамических форм из карельского кианита для литья турбинных лопаток самолетных и ракетных двигателей после обжига суспензии

Таблица 4. Характеристика основных кианитовых объектов Хизоваарского рудного поля [Щипцов и др., 1988]
 Table 4. Characteristics of major kyanite prospects in the Khizovaara Ore Field [Shchiptsov et al., 1988]

Месторождение Deposit		Хизоваарское Khizovaara		
		Южное Yuzhnoe	Восточное Vostochnoe	Северное Severnoe
Количество залежей (рудных тел) Number of ore bodies		6	1	1
Параметры залежей, м Body parameters, m	От – до From – to	40–100	До 150 (в раздуве) (in swells)	8–40
	Средняя мощность Average thickness	55	15	20
Протяженность Length		950	700	500
Условия залегания: глубина, м Mode of occurrence: depth, m		Более 150 More 150	-	-
Мощность наносов, м Detritus thickness, m		1,0–6,0	0–15	0–5
Горногеологические условия Geological and quarrying conditions		Руда по крепости (шкала буримости) – VIII категория. Отработка целесообразна многоступенным карьером с оставлением целиком на неблагонадежных местах. Гидрогеологические условия относительно усложненные Ore strength (drillability scale) – category VIII. Multi-bench quarrying with a pillar left in unreliable places is recommended. Hydrogeological conditions are relatively complex	Открытый способ разработки, гидрогеологические условия усложнены близостью к берегу оз. Верхнее Open-pit quarrying, hydrogeological conditions are complex due to proximity to Verkhneye Lake shore	Открытый способ разработки, гидрогеологические условия усложнены Open-pit quarrying, hydrogeological conditions are complex
Состав руд Ore composition		2 типа руд: первый тип – кварц 70–85 %, кианит 10–25 % (главные); мусковит, плагиоклаз, биотит, графит, тальк (второстепенные); пирит 0–10 %, пирротин, магнетит (рудные); рутил, апатит, сфен, гранат (акцессорные); второй тип – кварц 50–60 %, кианит 10–40 % (главные); мусковит, графит (второстепенные); пирит 0–10 %, пирротин, арсенопирит (рудные); рутил (акцессорные) Two ore types: in type I, quartz makes up 70–85 % and kyanite 10–25 % (major); muscovite, plagioclase, biotite, graphite, talc (minor); pyrite 0–10 %, pyrrhotite, magnetite (ore); rutile, apatite, csphene, garnet (accessory); in type II, quartz makes up 50–60 % and kyanite 10–40 % (major); muscovite, graphite (minor); pyrite 0–10 %, pyrrhotite, arsenopyrite (ore); rutile (accessory)	Кианит 3–23 %, кварц, полевой шпат, биотит, мусковит, графит (до 5–10 %) Кванит 3–23 %, quartz, feldspar, biotite, muscovite, graphite (up to 5–10 %)	Кианит 3–25 %, кварц, полевой шпат, биотит Kyanite 3–25 %, quartz, feldspar, biotite
Запасы, ресурсы, тыс. т (руда) Reserves, resources, thousand tons (ore)		V+C ₁ 2881 P ₁ +P ₂ 16378	P ₁ +P ₂ 16000	C ₂ 1556 P ₁ +P ₂ 9153
Технологические особенности руд Technological characteristics of ores		Метод обогащения – флотация, реагентный режим – Know How. Продукты обогащения – кианитовый, кварцевый и пиритовый концентраты Dressing method: flotation, reagent regime: Know How. Dressing products: kyanite, quartz and pyrite concentrates	Метод обогащения – комбинированный (флотация и магнитная сепарация) Dressing method: combined (flotation and magnetic separation)	Метод обогащения – комбинированный (флотация и магнитная сепарация) Dressing method: combined (flotation and magnetic separation)
Прочие сведения Other information		Перспективные руды Promising ores	Малоперспективный тип руды Poorly promising ore type	Малоперспективный тип руды Poorly promising ore type

Окончание табл. 4
Table 4 (continued)

Рекомендации Recommendations	Комплексная оценка с учетом кварца Integrated appraisal with regard for quartz	Комплексная оценка с учетом кварца и графита Integrated appraisal with regard for quartz and graphite	
---------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

для керамических форм по выплавляемым моделям, используемым при точном литье. Тонкомолотый кианит может быть использован и в основных смесях для производства сантехники, стеновых плиток, литейных форм и специальной керамики.

Сотрудники ИГ КарНЦ РАН участвовали в подготовке материалов по противопопригарным покрытиям [Володина и др., 1990; Карпович и др., 1995; Щипцов, 2005, 2011; Проблемы..., 2010; Огородников и др., 2012].

Выявлены новые области использования кианита:

- как заменитель асбеста;
- в производстве алюмокремниевых сплавов;
- наличие свободного кварца в составе кианитового концентрата позволяет использовать его при производстве стекловолокна.

Заключение

К заключению данной статьи, составленной по фрагментам многолетних исследований ИГ КарНЦ РАН и других организаций, в таблице 4 обобщена характеристика основных объектов Хизоваарского кианитового поля.

Дефицит огнеупорных материалов в различных отраслях промышленности обуславливает необходимость расширения минерально-сырьевой базы. Кианит – это материал XXI века, и потенциальная сырьевая база кианита России связывается с Карельским регионом.

Технико-экономические расчеты показывают преимущества использования кианитовых пород в производстве литья, огнеупорных футеровочных масс и неформованных изделий, а также специальной керамики.

Потребности в кианитовых концентратах превышают ожидаемые производственные возможности. Руды имеют предельно простой минералогический состав, и на их сырьевой базе можно создать безотходное производство концентратов с выделением в качестве товарных продуктов кианита, кварца, пирита. Ресурсы сырья достаточны для производства концентратов.

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

Литература

Алексеев В. С. Обогащение и переработка кианитовых руд // Обогащение руд и проблема безотходной технологии. Л.: Наука, 1980. С. 133–146.

Алексеев В. С. Теория и практика обогащения кианитовых руд. Л.: Наука, 1976. 200 с.

Аренс Ф. Ж. Физико-химические геотехнологии. М.: МГУ, 2001. 656 с.

Бибикина Е. В., Самсонов А. В., Щипанский А. А., Богина М. М., Грачева Т. В., Макаров В. А. Хизоваарская структура Северо-Карельского зеленокаменного пояса как аккрецированная островная дуга позднего архея: изотопно-геохронологические и петрологические данные // Петрология. 2003. Т. 11, № 3. С. 289–320.

Борисов П. А., Волотовская Н. А. Хизоваарское месторождение кианита (КФССР) // Советская геология. 1941. № 6. С. 82–86.

Бушмин С. А., Глебовицкий В. А. Схема минеральных фаций метаморфических пород // Зап. РМО. 2008. Т. СXXXVII, № 2. С. 1–13.

Бушмин С. А. Метасоматиты месторождения Хизовара (Северная Карелия) // Изв. АН СССР, сер. геол. 1978. № 7. С. 127–138.

Бушмин С. А. Фации, фациальные серии метасоматитов и рудная специализация метаморфических поясов // Метасоматиты докембрия и их рудоносность. М., 1989. С. 46–64.

Володина С. В., Заверткин А. С., Скамницкая Л. С., Лебедева Г. А., Озерова Г. П. Изучение геллефлинты и кианитосодержащих материалов в качестве противопопригарных покрытий для петруггических расплавов // Геолого-технологические исследования минерального сырья Карелии: опер.-информ. матер. Петрозаводск, 1990. С. 20–24.

Волотовская Н. А., Жиров К. К. Хромсодержащие минералы свиты Хизоваара // Изв. Карело-Финской научно-исслед. базы АН СССР. 1948. № 1. С. 41–53.

Гаранжа А. В., Заверткин А. С. Кианитовые породы Карело-Кольского региона и пути их применения // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических матери-

алов: Матер. междунар. конф. Петрозаводск, 2005. С. 36–39.

Геологическое и технологическое исследование кианитовых руд Хизоваарского месторождения (Северная Карелия) и их практическое значение // Комплексное освоение минеральных ресурсов Севера и Северо-Запада СССР (Европейская часть). Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР, 1990. С. 132–135.

Глебовицкий В. А. Проблемы эволюции метаморфических процессов в подвижных областях. Л.: Наука, 1973. 127 с.

Глебовицкий В. А., Бушмин С. А. Послемигматитовый метасоматоз. Л.: Наука, 1983. 216 с.

Голованов Ю. Б., Щипцов В. В. Кианит // Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Петрозаводск: Карелия, 2006. С. 69–71.

Гродницкий Л. Л., Ручьев А. М., Крохин А. И. Лоушское пегматитовое поле. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1985. 177 с.

Данилов В. Г. Обогащение кианитовых руд // Тр. Института «Механобр». Л., 1957. С. 196–209.

Демонис И. М., Карпович Ю. Ф., Озерова Г. П., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Кианитовые руды месторождения Хизоваара – перспективный вид огнеупорного сырья // Фундаментальные науки – народному хозяйству. М.: Наука, 1990. С. 692–694.

Заверткин А. С., Гоголев М. А., Фролов П. В. Микроструктура, вещественный состав кианитовых пород Хизоваарского месторождения и пути их применения // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. № 15. С. 144–145.

Заверткин А. С., Щипцов В. В., Ененко В. П. Возможности применения в производстве огнеупоров кианитов Хизоваарского месторождения // Новые огнеупоры. 2005. № 4. С. 87–92.

Заверткин А. С., Щипцов В. В. Состояние и перспективы применения кианита в огнеупорных и противопожарных материалах // Новые огнеупоры. 2018. № 7. С. 7–12.

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

Карпович Ю. Ф., Демонис И. А., Панина М. Е., Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Озерова Г. П. Суспензия для форм по выплавляемым моделям. Патент № 1656761. 1995.

Кожевников В. Н., Самсонов А. В., Щипанский А. А. Архейский Хизоваарский зеленокаменный пояс в районе оз. Верхнее: общие черты геологического строения и эволюции // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения: Матер. науч. конференции и путеводитель экскурсии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 31–52.

Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 223 с.

Козловский Е. А. Минерально-сырьевые ресурсы в экономике мира и России. М.: РГГУ, ВНИИгеосистем, 2014. 605 с.

Коротеев В. А., Огородников В. Н., Щипцов В. В., Войтеховский Ю. Л. Морфогенетические типы кианита в докембрийских метаморфических комплексах // Петрография магматических и метаморфических пород: Мат. XII Всерос. Петрограф. совещ. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 320–323.

Кривовичев В. Г. Минералогический словарь. СПб.: С.-Петерб. ун-т, 2008. 556 с.

Лебедева Г. А., Инина И. С. Исследование возможности применения кианита для получения кордиеритовой керамики // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 9. С. 40–42.

Материалы к стратиграфическому словарю по докембрию КАСССР / Отв. ред. В. А. Соколов. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1982. 137 с.

Небокситовое алюминиевое сырье России / Отв. ред. В. А. Коротеев. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 228 с.

Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В. Кианитовые руды России. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. 334 с.

Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В., Поленов Ю. А., Савичев А. Н., Нерадовский Ю. Н., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Гришин Н. Н., Белогурова О. А., Гершенков А. Ш., Коротеев Д. В. Морфогенетические типы и технология обогащения кианитовых руд. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 310 с.

Проблемы освоения кианитовых месторождений Кольского полуострова, Карелии и Урала: Матер. Всерос. совещ., посв. 80-летию КНЦ РАН / Под ред. Ю. Л. Войтеховского. Апатиты: К&М, 2010. 186 с.

Рыбаков С. И., Мельянцева Н. В. Хизоваарская палеовулканологическая постройка // Геология докембрия Карелии (опер.-информ. матер.). Петрозаводск, 1986. С. 16–18.

Самсонов А. В., Бибикина Е. В., Щипанский А. А. и др. Геохронология и петрология Хизоваарской структуры, Северокарельский зеленокаменный пояс: стадийность формирования и геодинамические режимы // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты: Тез. докл. I Рос. конф. по изотопной геохронологии. М.: ГЕО, 2000. С. 362–329.

Светов С. А., Степанова А. В., Чаженгина С. Ю., Светова Е. Н., Рыбникова З. П., Михайлова А. И., Парамонов А. С., Утицына В. Л., Эхова М. В., Колодей В. С. Прецизионный (ICP-MS, LA-ICP-MS) анализ состава горных пород и минералов: методика и оценка точности результатов на примере раннедокембрийских мафитовых комплексов // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 7. С. 54–73. doi: 10.17076/geo140

Сергеев С. А., Лобач-Жученко С. Б. Возраст фукситовых метасоматитов Хизоваары (Северная Карелия) по результатам U-Pb датирования единичных зерен циркона // ДАН. Т. 333, № 1. 1993. С. 73–75.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Перспективы промышленного использования кварцевых отходов обогащения кианитовых руд Хизоваарского рудного поля (Республика Карелия) // Огнеупоры и техническая керамика. 2016. № 6. С. 43–49.

Скамницкая Л. С., Щипцов В. В., Бубнова Т. П. Промышленный минерал кианит Хизоваарского месторождения (Северная Карелия): технологические аспекты // Типоморфные минералы и минеральные

ассоциации – индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд: Матер. Всерос. науч. конф. Годичное собрание РМО. Екатеринбург: УРО РАН, 2008. С. 138–140.

Теляков Н. М., Дарьин А. А., Луганов В. А. Перспективы применения биотехнологий в металлургии и обогащении // Записки Горного института. 2016. Т. 217. С. 113–124.

Щипцов В. В., Гаранжа А. В., Сыстра Ю. Й., Щипцова Н. И., Кулмала Т. К., Бородулин Ю. Д., Сканницкая Л. С., Захарова И. Б., Морозов Г. Г., Каненкова Е. А., Байбусинов Ш. Ш. Хизоваарское кианитовое поле (Северная Карелия). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1988. 104 с.

Щипцов В. В. Кианит – эффективный огнеупор (сферы потребления, производители и мировая торговля) // Новые огнеупоры. 2005. № 8. С. 78–86.

Щипцов В. В. Минералогия кианитовых руд Карелии // Юшкинские чтения – 2018. Сыктывкар: Коми НЦ УРО РАН, 2018. С. 219–220.

Щипцов В. В. Потенциальная минерально-сырьевая база глиноземистых руд Республики Карелия // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 146–162.

Bushmin S. A., Glebovitsky V. A. Scheme of mineral facies of metamorphic rocks and its application to the Fennoscandian Shield with representative sites of orogenic gold mineralization // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 2. P. 3–27. doi: 10.17076/geo265

Condie K. Archaean andesites // Orogenic andesites and related rocks. 1982. P. 575–590.

References

Alekseev V. S. Obogashchenie i pererabotka kianitovykh rud [Enrichment and processing of kyanite ores]. *Obogashchenie rud i probl. bezotkhodnoi tekhnol.* [Ore processing and the problem of non-waste technol.]. Leningrad: Nauka, 1980. P. 133–146.

Alekseev V. S. Teoriya i praktika obogashcheniya kianitovykh rud [Theory and practice of kyanite ores enrichment]. Leningrad: Nauka, 1976. 200 p.

Arens F. Zh. Fiziko-khimicheskie geotekhnologii [Physicochemical geotechnology]. Moscow: MGU, 2001. 656 p.

Bibikova E. V., Samsonov A. V., Shchipanskii A. A., Bogina M. M., Gracheva T. V., Makarov V. A. Khizovaarskaya struktura Severo-Karel'skogo zelenokamennogo poyasa kak akkretirovannaya ostrovnaya duga pozdnego arkheya: izotopno-geokhronologicheskie i petrologicheskie dannye [Khizovaara structure of the North Karelian greenstone belt as an accreted island arch of the Late Archean: isotope-geochronological and petrological data]. *Petrologiya* [Petrology]. 2003. Vol. 11, no. 3. P. 289–320.

Borisov P. A., Volotovskaya N. A. Khizovaarskoe mestorozhdenie kianita (KFSSR) [Khizovaara kyanite deposit (KFSSR)]. *Sovetskaya geol.* [Soviet Geol.]. 1941. No. 6. P. 82–86.

Bushmin S. A., Glebovitskii V. A. Skhema mineral'nykh fatsii metamorficheskikh porod [Scheme of mineral facies of metamorphic rocks]. *Zap. RMO* [Proceed. RMS]. 2008. Vol. CXXXVII, no. 2. P. 1–13.

Graesberg M. Swedish kyanite – new source of alumina for refractories and ceramics. *Proceed. of 7th Industrial Minerals Int. Congress.* 1986. P. 77–85.

Nikiforov A. G., Bubnova T. P. Geological and technological mapping of industrial types of muscovite ores of Eastern Hizovaara structure (Republic of Karelia) // Обогащение руд. 2018. № 5. С. 49–56.

Shchipansky A. A., Samsonov A. V., Bibikova E. V., Babarina I. I., Krylov K. A., Konilov A. N., Slabunov A. I., Bogina M. M. 2.8 Ga boninite-hosting partial supra-subduction ophiolite sequences from the North Karelian greenstone belt, NE Baltic Shield, Russia // *Precambrian Ophiolites and Related Rocks* / Eds. T. Kusky, V. Veensstra, K. Condie. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 425–487.

Shchiptsov V. V. Mineral raw materials base of high-alumina ores of the Republic Karelia (Russia) // SGEM2014 Conf. *Proceed.* Sofia Bulgaria, 2014. Vol. 1. P. 215–222.

Shchiptsov V. V., Nikiforov A. G. Contribution of metasomatic processes to the formation of industrial minerals in Khizovaara ore field, Republic of Karelia, Russia // 16th Int. multidisciplinary sci. geoconf. SGEM 2016. Book 1. Sci. and Technologies in Geol., Exploration and Mining. Conf. *proceed.* Vol. I. P. 125–132.

The economics of kyanite // Roskill Information Services Ltd. London, 1990. 146 p.

Thompson R. N. Magmatism of the British Tertiary volcanic province // *Scott. J. Geol.* 1982. No. 18. P. 49–107.

Поступила в редакцию 19.05.2020

Bushmin S. A. Metasomatity mestorozhdeniya Khizovaara (Severnaya Kareliya) [Metasomatites of the Khizovaara deposit (North Karelia)]. *Izv. AN SSSR, Ser. Geol.* [Proceed. Acad. Sci. USSR, Geol. Ser.]. 1978. No. 7. P. 127–138.

Bushmin S. A. Fatsii, fatsial'nye serii metasomatitov i rudnaya spetsializatsiya metamorficheskikh poyasov [Facies, facies series of metasomatites and ore specialization of metamorphic belts]. *Metasomatity dokembriya i ikh rudonosnost'* [Precambrian metasomatites and their ore content]. Moscow: Nauka, 1989. P. 46–64.

Danilov V. G. Obogashchenie kianitovykh rud [Enrichment of kyanite ores]. *Tr. Inst. "Mekhanobr"* [Proceed. Mekhanobr Inst.]. Leningrad, 1957. P. 196–209.

Demonis I. M., Karpovich Yu. F., Ozerova G. P., Skamnitskaya L. S., Shchiptsov V. V. Kianitovye rudy mestorozhdeniya Khizovaara – perspektivnyi vid ognepornogo syr'ya [Kyanite ores of the Khizovaara deposit – a promising type of refractory raw materials]. *Fund. nauki – narodnomu khoz.* [Achievement of sci. – to the national economy]. Moscow: Nauka, 1990. P. 692–694.

Garanzha A. V., Zavyortkin A. S. Kianitovye porody Karelo-Kol'skogo regiona i puti ikh primeneniya [Kyanite rocks of the Karelian-Kola region and ways of their application]. *Probl. rats. ispol'zovaniya prirod. i tekhnogennogo syr'ya Barentseva reg. v tekhnol. stroitel'nykh i tekhn. mat.*: Mat. mezhdunarod. konf. [Probl. of rational use of nat. and technogenic raw mat. of the Barents re-

gion in the technology of building and tech. mat.: Proceed. int. conf.]. Petrozavodsk, 2005. P. 36–39.

Geologicheskoe i tekhnologicheskoe issledovanie kyanitovykh rud Khizovaarskogo mestorozhdeniya (Severnaya Kareliya) i ikh prakticheskoe znachenie [Geological and technological study of kyanite ores of the Khizovaara deposit (North Karelia) and their practical significance]. *Kompleksnoe osvoenie mineral'nykh resursov Severa i Severo-Zapada SSSR (Evropeiskaya chast')* [Integrated development of mineral resources of the North and North-West of the USSR (European part)]. Petrozavodsk, 1990. P. 132–135.

Glebovitskii V. A. Problemy evolyutsii metamorficheskikh protsessov v podvizhnykh poyasakh [Problems of the evolution of metamorphic processes in mobile zones]. Leningrad: Nauka, 1973. 128 p.

Glebovitskii V. A., Bushmin S. A. Poslemigmatitovyy metasomatoz [Postmigmatitic metasomatism]. Leningrad: Nauka, 1983. 216 p.

Golovanov Yu. B., Shchiptsov V. V. Kyanit [Kyanite]. *Mineral'no-syr'yevaya baza Respubliki Kareliya* [Mineral resources base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2006. Book. 2. P. 69–71.

Grodnitskii L. L., Ruch'ev A. M., Krokhin A. I. Loushskoe pegmatitovoe pole [Loushi pegmatite field]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1985. 177 p.

Kameneva E. E., Skamnitskaya L. S. Obogashchenie mineral'nogo syr'ya Karelii [Enrichment of mineral raw materials of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. 230 p.

Karpovich Yu. F., Demonis I. A., Panina M. E., Shchiptsov V. V., Skamnitskaya L. S., Ozerova G. P. Suspenziya dlya form po vyplavlyaemym modelyam [Lost wax molds]. Patent No. SU1656761A1. 1995.

Koroteev V. A., Ogorodnikov V. N., Shchiptsov V. V., Voitekhovskii Yu. L. Morfogeneticheskie tipy kyanita v dokembriyskikh metamorficheskikh kompleksakh [Morphogenetic types of kyanite in the Precambrian metamorphic complexes]. *Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh porod: Mat. XII Vseros. Petrograficheskogo soveshch.* [Petrography of igneous and metamorphic rocks: Proceed. XII All-Russ. petrographic meeting]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 320–323.

Kozhevnikov V. N., Samsonov A. V., Shchipanskii A. A. Arkheiskii Khizovaarskii zelenokamennyi poyas v rayone oz. Verkhnee: obshchie cherty geologicheskogo stroeniya i evolyutsii [Archean Khizovaara greenstone belt in the area of Lake Verkhnee: general features of the geological structure and evolution]. *Putevoditel' ekskursii: Belomorskii podvizhnyi poyas i ego analogi: geol., geokhronologiya, geodinamika, minerageniya* [A guided tour: Belomorsky mobile belt and its analogues: geol., geochronology, geodynamics, and mineralogy]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. P. 31–52.

Kozhevnikov V. N. Arkheiskie zelenokamennyye poyasa Karelskogo kratona kak akkretionnyye orogeny [Archean greenstone belts of the Karelian craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. 223 p.

Kozlovskii E. A. Mineral'no-syr'yevyye resursy v ekonomike mira i Rossii [Mineral resources in the economy of the world and Russia]. Moscow: RGGU, VNIIGeosistem, 2014. 605 p.

Krivovichev V. G. Mineralogicheskii slovar' [Mineralogical dictionary]. St. Petersburg: St. Petersburg Univ., 1956 p.

Lebedeva G. A., Inina I. S. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya kyanita dlya polucheniya kordieritovoi keramiki [Study of the possibility of using kyanite to obtain cordierite ceramics]. *Ogneupory i tekhn. keramika* [Refractories and Tech. Ceramics]. 2005. No. 9. P. 40–42.

Materialy k stratigraficheskomu slovaryu po dokembriyu KASSR [Materials for the stratigraphic dictionary of the Precambrian KASSR]. Ed. V. A. Sokolov. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1982. 137 p.

Neboksitovoe alyuminievoe syr'e Rossii [Non-bauxite aluminum raw materials of Russia]. Ed. V. A. Koroteev. Ekaterinburg: IGG UrB RAN, 2011. 228 p.

Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Voitekhovskii Yu. L., Shchiptsov V. V. Kyanitovyye rudy Rossii [Kyanite ores of Russia]. Ekaterinburg: IGG UrO RAS, 2012. 334 p.

Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Voitekhovskii Yu. L., Shchiptsov V. V., Polenov Yu. A., Savichev A. N., Neradovskii Yu. N., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P., Grishin N. N., Belogurova O. A., Gershenkop A. Sh., Koroteev D. V. Morfogeneticheskie tipy i tekhnologiya obogashcheniya kyanitovykh rud [Morphogenetic types and technology of enrichment of kyanite ores]. Ekaterinburg: RIO UrB RAS, 2013. 310 p.

Problemy osvoeniya kyanitovykh mestorozhdenii Kol'skogo poluostrova, Karelii i Urala: mat. Vseros. soveshch., posv. 80-letiyu KNTs RAN [Problems of development of kyanite deposits of the Kola Peninsula, Karelia and the Urals: Proceed. All-Russ. meeting dedicated to the 80th anniv. of KarRC RAS]. Apatity: K&M, 2010. 186 p.

Rybakov S. I., Mel'yantsev N. V. Khizovaarskaya paleovolkanologicheskaya postroika [Khizovaara paleovolcanological building]. *Geol. dokembriya Karelii (oper.-inf. mat.)* [Geol. of the Precambrian Karelia]. Petrozavodsk, 1986. P. 16–18.

Samsonov A. V., Bibikova E. V., Shchipanskii A. A. et al. Geokhronologiya i petrologiya Khizovaarskoi struktury, Severokarel'skii zelenokamennyi poyas: stadiinost' formirovaniya i geodinamicheskie rezhimy [Geochronology and petrology of the Khizovaara structure, North Karelian greenstone belt: formation stages and geodynamic regimes]. *Izotopnoe datirovanie geol. protsessov: novye metody i rezul'taty. Tez. dokl. 1 Ros. konf. po izotopnoi geokhronologii* [Isotopic dating of geological processes: new methods and results. Proceed. 1st Russ. conf. on isotope geochronology]. Moscow: GEO, 2000. P. 362–329.

Sergeev S. A., Lobach-Zhuchenko S. B. Vozrast fuksitovykh metasomatitov Khizovaary (Severnaya Kareliya) po rezul'tatam U-Pb datirovaniya edinichnykh zeren tsirkona [Age of fuchsite metasomatites of Khizovaara (North Karelia) according to the results of U-Pb dating of single zircon grains]. *DAN* [Proceed. Acad. Sci.]. 1993. Vol. 333, no. 1. P. 73–75.

Shchiptsov V. V., Garanzha A. V., Systra Yu. I., Shchiptsova N. I., Kulmala T. K., Borodulin Yu. D., Skamnitskaya L. S., Zakharova I. B., Morozov G. G., Kanenkova E. A., Baibusinov Sh. Sh. Khizovaarskoe kyanitovoe pole (Severnaya Kareliya) [Khizovaara kyanite field (northern Karelia)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1988. 104 p.

Shchiptsov V. V. Kianit – effektivnyi ogneupor (sfery potrebleniya, proizvoditeli i mirovaya trgovlya) [Kyanite is an effective refractory (consumer goods, manufacturers, and world trade)]. *Novye ogneupory* [New Refractories]. 2005. No. 8. P. 78–86.

Shchiptsov V. V. Mineralogiya kyanitovykh rud Karelii [Mineralogy of kyanite ores of Karelia]. *Yushkinskiye chteniya – 2018* [Yushkinsky Readings – 2018]. Syktyvkar: IG KomiSC UrB RAN, 2018. P. 219–220.

Shchiptsov V. V. Potentsial'naya mineral'no-syr'yevaya baza glinozemistykh rud Respubliki Kareliya [Potential mineral resource base of aluminous ores of the Republic of Karelia]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. P. 146–162.

Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Perspektivy promyshlennogo ispol'zovaniya kvartsevykh otkhodov obogashcheniya kyanitovykh rud Khizovaarskogo rudnogo polya (Respublika Kareliya) [Prospects for the industrial use of quartz wastes from the enrichment of kyanite ores of the Khizovaara ore field (Republic of Karelia)]. *Ogneupory i tekhn. keramika* [Refractories and Tech. Ceramics]. 2016. No. 6. P. 43–49.

Skamnitskaya L. S., Shchiptsov V. V., Bubnova T. P. Promyshlennyy mineral kyanit Khizovaarskogo mestorozhdeniya (Severnaya Kareliya): tekhnologicheskie aspekty [The industrial mineral kyanite of the Khizovaara deposit (North Karelia): technological aspects]. *Tipomorfnye mineraly i mineral'nye assotsiatsii – indikatory masshtabnosti prirod. i tekhnogennykh mestorozhdenii i kachestva rud: Mat. vseros. nauch. konf. Godichnoe sobranie RMO* [Typomorphic minerals and mineral associations – indicators of the scale of natural and technogenic deposits and ore quality: Proceed. All-Russ. sci. conf. RMS Annual Meeting]. Ekaterinburg: IGG UrB RAS, 2008. P. 138–140.

Svetov S. A., Stepanova A. V., Chazhengina S. Yu., Svetova E. N., Rybnikova Z. P., Mikhailova A. I., Paramonov A. S., Utitsyna V. L., Ekhovala M. V., Kolodei V. S. Pretsizionnyy (ICP-MS, LA-ICP-MS) analiz sostava gornyx porod i mineralov: metodika i otsenka tochnosti rezul'tatov na primere rannedokembriiskikh mafitovykh kompleksov [Precision geochemical (ICP-MS, LA-ICP-MS) analysis of rock and mineral composition: The method and accuracy estimation in the case study of Early Precambrian mafic complexes]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2015. No. 7. P. 54–73. doi: 10.17076/geo140

Telyakov N. M., Dar'in A. A., Luganov V. A. Perspektivy primeneniya biotekhnologii v metallurgii i obogashchenii [Prospects for the use of biotechnology in metallurgy and enrichment]. *Zapiski Gornogo inst.* [Proceed. Mining Inst.]. 2016. Vol. 217. P. 113–124.

Volodina S. V., Zavertkin A. S., Skamnitskaya L. S., Lebedeva G. A., Ozerova G. P. Izuchenie gelleflinty i kyanitsoderzhashchikh materialov v kachestve protivoprigarnykh pokrytii dlya petrurgicheskikh rasplavov [The study of helleflint and kyanite-containing materials as non-stick coatings for peturgic melts]. *Geologo-tekhnol. issled. mineral'nogo syr'ya Karelii: oper.-inf. mat.* [Geological and technol. res. of mineral raw materials of Karelia: Oper.-inf. mat.]. Petrozavodsk, 1990. P. 20–24.

Volotovskaya N. A., Zhiron K. K. Khromsoderzhashchie mineraly svity Khizovaara [Chromium-containing minerals of the Khizovaara formation]. *Izv. Karelo-Finskoi nauchno-issled. bazy AN SSSR* [Izv. Karelian-Finnish res. base of the USSR Acad. Sci.]. 1948. No. 1. P. 41–53.

Zavertkin A. S., Gogolev M. A., Frolov P. V. Mikrostruktura, veshchestvennyi sostav kyanitovykh porod Khizovaarskogo mestorozhdeniya i puti ikh primeneniya [Microstructure, material composition of kyanite rocks of the Khizovaara deposit and ways of their application]. *Trudy Fersmanovskoi nauch. sessii GI KNTs RAN* [Proceed. Fersmanov sci. session of the Kola Sci. Center RAS]. Apatity, 2018. No. 15. P. 144–145.

Zavertkin A. S., Shchiptsov V. V., Eenko V. P. Vozmozhnosti primeneniya v proizvodstve ogneuporov kyanitov Khizovaarskogo mestorozhdeniya [Possibilities of application in the production of kyanite refractories in the Khizovaara deposit]. *Novye ogneupory* [New Refractories]. 2005. No. 4. P. 87–92.

Zavertkin A. S., Shchiptsov V. V. Sostoyanie i perspektivy primeneniya kyanita v ogneupornykh i protivoprigarnykh materialakh [The state and prospects of the use of kyanite in refractory and non-stick materials]. *Novye ogneupory* [New Refractories]. 2018. No. 7. P. 7–12.

Bushmin S. A., Glebovitsky V. A. Scheme of mineral facies of metamorphic rocks and its application to the Fennoscandian Shield with representative sites of orogenic gold mineralization. *Trans. KarRC RAS*. 2016. No. 2. P. 3–27. doi: 10.17076/geo265

Condie K. Archaean andesites. *Orogenic andesites and related rocks*. 1982. P. 575–590.

Graesberg M. Swedish kyanite – new source of alumina for refractories and ceramics. *Proceed. of 7th Industrial Minerals Int. Congress*. 1986. P. 77–85.

Nikiforov A. G., Bubnova T. P. Geological and technological mapping of industrial types of muscovite ores of Eastern Hizovaara structure (Republic of Karelia). *Obogashchenie rud* [Mineral Processing J.]. 2018. No. 5. P. 49–56.

Shchipansky A. A., Samsonov A. V., Bibikova E. V., Babarina I. I., Krylov K. A., Konilov A. N., Slabunov A. I., Bogina M. M. 2.8 Ga boninite-hosting partial supra-subduction ophiolite sequences from the North Karelian greenstone belt, NE Baltic Shield, Russia. *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Eds. T. Kusky, V. Veestra, K. Condie. Amsterdam: Elsevier, 2004. P. 425–487.

Shchiptsov V. V. Mineral raw materials base of high-alumina ores of the Republic Karelia (Russia). *SGEM 2014 Conf. Proceed.* Sofia, Bulgaria, 2014. Vol. 1. P. 215–222.

Shchiptsov V. V., Nikiforov A. G. Contribution of metasomatic processes to the formation of industrial minerals in Khizovaara ore field, Republic of Karelia, Russia. *16th Int. multidisciplinary sci. geoconf. SGEM 2016*. Book 1. Sci. and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conf. proceed. Vol. I. P. 125–132.

The economics of kyanite. Roskill Information Services Ltd. London, 1990. 146 p.

Thompson R. N. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scott. J. Geol.* 1982. No. 18. P. 49–107.

Received May 19, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щипцов Владимир Владимирович

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

Бубнова Татьяна Петровна

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

Заверткин Александр Сергеевич

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: zavertkin@igkrc.ru
тел.: +79214572221

Никифоров Александр Геннадьевич

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

Скамницкая Любовь Степановна

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

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

CONTRIBUTORS:

Shchiptsov, Vladimir

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

Bubnova, Tatyana

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

Zavertkin, Alexander

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: zavertkin@igkrc.ru
tel.: +79214572221

Nikiforov, Alexander

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

Skamnitskaya, Lubov

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

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

УДК 550.4 + 550.8.05 + 550.84

SHUNGITE ROCKS OF VARYING GENESIS IN INNOVATIVE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES

V. V. Kovalevski¹, S.-P. Reinikainen², V. Reinikainen³,
V. S. Rozhkova¹, T. Sihvonен²

¹ Institute of Geology, Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

² LUT University, Lappeenranta, Finland

³ Environmental Office of Lappeenranta Region, Finland

It is becoming increasingly important to deal with environmental pollution issues using ecologically safe processes based on natural mineral and biological components. The paper presents the results of research on shungite rocks of varying genesis to be used in innovative methods of water purification in combination with useful microbiota, effective microorganisms (yeast, lactic acid bacteria, etc.). It is shown that rocks at different stratigraphic levels (second, fourth and sixth), differing in composition and structure, are characterized by different degrees of leaching of chemical elements, sorption activity to cationic and anionic complexes, and differ in the ability to sorb polluting components from water, including heavy metals. It was found that unmodified shungite rock inhibits the functioning of effective microorganisms in direct contact, while for heat-treated shungite rock, on the contrary, a growth of effective microorganisms is observed.

Key words: shungite rocks; water purification; leaching; sorption activity; biological treatment; effective microorganisms.

В. В. Ковалевский, С.-П. Рейникайнен, В. Рейникайнен, В. С. Рожкова, Т. Сихвонен. ШУНГИТОВЫЕ ПОРОДЫ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА В ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОДООЧИСТКИ

В последнее время все более актуальным становится решение проблем загрязнения окружающей среды с помощью экологически безопасных процессов на основе природных минеральных и биологических компонент. В работе приводятся результаты исследования шунгитовых пород различного генезиса для применения в инновационных способах очистки воды с совместным использованием полезной микробиоты, эффективных микроорганизмов (дрожжей, молочнокислых бактерий и пр.). Показано, что породы различных стратиграфических уровней (второго, четвертого и шестого), различающиеся по составу и строению, характеризуются разной степенью выщелачивания химических элементов, сорбционной активностью к катионным и анионным комплексам и по-разному способны сорбировать из воды загрязняющие компоненты, в том числе тяжелые металлы. Установлено, что немодифицированная шунгитовая порода ингибирует функционирование эффективных микроорганизмов при непосредственном контакте, а для термически обработанной шунгитовой породы, напротив, наблюдается рост эффективных микроорганизмов.

Ключевые слова: шунгитовые породы; очистка воды; выщелачивание; сорбционная активность; биологическая очистка; эффективные микроорганизмы.

Introduction

Shungite rocks are ancient Precambrian carbon-bearing rocks of Karelia (Russia), whose specific properties are due to the structure and properties of carbon (shungite) on the one hand, and on complex (varying from siliceous, aluminosilicate and carbonate to mixed) mineral composition on the other [Shungites..., 1975; Buseck et al., 1997]. Shungite rocks comprise, in addition to carbon, a wide range of macro and microelements. Previously, it was found that macroelements (Si, Fe, Ti, Al, Ca, Mg, Mn, K, Na) are mainly included in rock-forming minerals such as quartz, mica, chlorite, albite, calcite and dolomite, while microelements (Cu, Zn, Co, Ni, Cr, V, Mo, Pb, S, As, Se, etc.) are associated with accessory, mainly sulfide minerals. Among them are pyrite, violarite, chalcopyrite, sphalerite, millerite and others, as well as layered silicates, roscoelite and paragonite [Romashkin et al., 2014].

Based on the geological understanding of the Onega synclorium structure, nine stratigraphic horizons of shungite rocks were conventionally identified as the most free-carbon-rich sections of the stratified strata [Kupryakov, 1988]. Currently, there are different ideas about the initial substance of shungite rocks and the conditions for its transformation. It is known that the processes of their formation occurred in the conditions of the green-shale facies of metamorphism, at a temperature of no more than 450 °C and a pressure of no more than 7 kbar. However, in these ranges of temperatures and pressures, thermal and hydrothermal processes were manifested to varying degrees, which led to a wide variation in the composition, structure and properties of shungite rocks in different deposits and outcrops, even within the same stratigraphic horizon. At the same time, the conditions in which shungite rocks formed and transformed also influenced changes in the structural characteristics and properties of carbonaceous matter of the shungite rocks [Chazhengina et al., 2017; Deines et al., 2020].

Shungite rocks have a number of multifunctional physical and chemical properties, which determine the prospects for their practical use in metallurgy as coke, in chemistry as a catalyst, in water purification as an effective sorbent, and as an active filler of composite materials [Shungites..., 1975; Kalinin et al., 2008]. Recently, the prospects for the use of shungite rocks in agriculture and animal husbandry have been shown, in particular, due to increased plant resistance to drought [Kim et al., 2019].

One of the most cost-effective and environmentally justified practical uses of shungite rocks

is their application as a sorbent and filter material in water purification and water treatment for both industrial and household needs, especially in the light of modern requirements to environmental problems [Shishkov, 2020]. Shungite as a sorbent features a number of positive characteristics: high mechanical strength and low abrasion; high filtering capacity (processability, due to low pressure resistance); the ability to sorb many substances, both organic (petroleum products, benzene, phenol, pesticides, etc.) and mineral (iron, manganese, phosphorus, arsenic) [Kalinin et al., 2008]. Shungite is able to clean water from petroleum products to the maximum permitted concentration (MPC) in water discharged to fisheries reservoirs. At the same time, shungite as a strong reducing agent absorbs oxygen from water with the formation of atomic oxygen, which oxidizes the sorbed organic substances to CO₂ and H₂O, making the surface of shungite available for new sorption acts [Kalinin et al., 2008].

In general, shungite rocks exhibit the ability to sorb both inorganic cations and anions. Moreover, the cation exchange function dominates in alkaline, and the anion-exchange function – in acidified solutions. Organic acids are significantly better sorbed, and other things being equal, shungite selectively sorbs aromatic acids [Shalimov et al., 2004]. As to the sorption of heavy metals, it is shown that natural and thermally modified shungite rocks have a high adsorption capacity with respect to iron (III) cations in comparison with other carbon sorbents [Alekseev et al., 2016]. They also have sorption and reducing properties when cleaning water from chromium [Shchetinskaya et al., 2017].

It is also important that shungite rock has demonstrated a high sorption activity in relation to pathogenic microflora. When the contaminated water of Lake Onega containing pathogenic saprophytes and protozoa (infusoria, rotifers, crustaceans) was passed through shungite filter, almost complete removal of *Escherichia coli* (a change in the coli index from 2300 KL/l to less than 3 KL/l) and protozoa (from 1785 KL/l to 0 KL/l) was observed, securing conformance to sanitary standards [Zagurskaya, 1990]. At the same time, in natural conditions, shungite rocks are characterized by a symbiosis with microbiota, containing a wide range of non-pathogenic microorganisms, in particular, chemoorganotrophic, methylotrophic and chemolithotrophic bacteria. The dominant phylotypes include 3 phyla (Proteobacteria, Actinobacteria and Firmicutes), with the bulk of the microbiome constituted by Proteobacteria (76.4 to 81.2 %) [Sidorova et al., 2019].

Unfortunately, for many consumers, the term “shungite” and “shungite rock” refers only

to the rock determined by its carbon content, without any attention to the structure of carbon, mineral components, and the rock as a whole, without taking into account the wide variety of shungite rocks, which differ in the conditions of formation and, as a result, in the structure and physical and chemical properties. Therefore, it is not surprising that the study and application of shungite rocks reveal diametrically opposite properties, previously conducted studies are not confirmed, and previously described effects are not achieved in industrial areas. For example, in a study of the effect of an aqueous extract of shungite rock on microorganisms for the purpose of their neutralization, pronounced signs of destruction of bacterial cells have been shown [Ponomarev, 2018]. At the same time, results are presented that do not confirm the effectiveness of “shungite” in disinfecting water from bacteria, moreover, when “shungite” was added to experimental tanks, the number of microorganisms not only did not decrease, but on the contrary, increased [Dallakyan et al., 2017].

Thus, the aim of this work is to study geologically bound shungite rocks with different composition, structure and properties and to establish criteria for their selection as industrial mineral raw materials to be used in innovative water purification schemes as a potential filter material in combination with effective microorganisms.

Characteristics of the research objects

The study objects were shungite rocks of the Onega synclinorium, developed in the sixth (first and second samples), second (third sample) and fourth (fourth sample) shungite-bearing horizons with a carbon content of 34 to 48 %.

Material and methods

The content of petrogenic elements in samples was determined by quantitative chemical analysis methods in the analytical laboratory of the Institute of Geology KarRC RAS (Petrozavodsk). The data from the chemical analyses were recalculated on a carbon-free basis (the mineral component of shungite rocks). The mineral composition was determined using X-ray phase analysis.

The adsorption activity of shungite rocks from various stratigraphic levels was measured by the adsorption of methylene blue and methanil yellow from aqueous solutions. The amount of the dye absorbed from the solution by the sample material (fraction >1 mm) under static conditions was taken as the measure of activity. The dye concentration in the solution was determined

using Raman spectroscopy following a procedure described elsewhere [Rozhkova et al., 2019].

The study of leaching processes in shungite rocks, the analysis of various elements, the study of sorption of shungite rocks on model solutions at different concentrations were conducted at LUT University (Lappeenranta) using ICP-MS. The preliminary testing of shungite rocks for environmental acceptability was done according to Finnish Government Decree on landfills 331/2013. Experiments on the biocompatibility of shungite rocks and useful microorganisms on unmodified and heat-treated (400° C) shungite rocks were carried out at LUT University and IG KarRC RAS.

Results and discussion

The use of shungite rocks as a filter material in combination with effective microorganisms implies the fulfillment of a number of criteria. First, regarding the degree of leaching of dangerous concentrations of chemical elements from the shungite rocks themselves, second, regarding the sorption activity of the filter material as applied to potential polluting complexes of anionic and cationic character, and finally, regarding the compatibility of shungite rocks with effective microorganisms.

Leaching of chemical elements from shungite rocks is governed by a number of factors. As previously shown for water purification using shungite rocks, both sorption and leaching properties of SH are important. Those are determined by the type of shungite rocks, content and composition of carbon and minerals, and their structure and physicochemical properties (the value of the specific surface and its chemical state, for instance). It should be noted that the aqueous extracts of different shungite rocks differ in ionic and microcomponent composition. Leaching of components from the mineral part of different shungite rocks is determined not only by the composition of the rock but also by the pH value. Namely, the lower the pH, the greater the rate of hydrolytic processes separating minerals, in particular sulphides. However, the content of certain elements (Na, Ca) in the solutions does not depend on the acidity of the medium and their content in the rocks [Rozhkova et al., 2012].

Chemical analysis of the selected samples showed that, being similar in carbon content, rocks differ slightly in the content of the main chemical elements, and quite significantly in the composition of rock-forming minerals (Table).

One of the most important indicators of the interaction of shungite rocks with water is the hydrogen index (pH). For the selected rocks, the pH had different values, according to the generally accept-

Chemical and mineralogical composition of shungite rocks and pH of the aqueous extract from them

Composi- tion	Shungite rock			
	#1 horizon 6	#2 horizon 6	#3 horizon 2	#4 horizon 4
Chemical composition, oxides, %				
SiO ₂	52.28	40.78	30.99	38.6
TiO ₂	0.21	0.28	0.42	0.34
Al ₂ O ₃	3.56	5.11	6.96	7.02
Fe ₂ O ₃	4.23	2.14	6.49	1.47
FeO	0.53	0.53	2.93	0.53
MnO	0.015	0.015	0.1	0.01
MgO	1.11	0.94	5.46	1.03
CaO	0.07	< 0.01	2.83	0.58
Na ₂ O	0.06	0.05	1.82	1.5
K ₂ O	0.54	1.20	0.22	1.87
LOI*	35.4	47.03	40.95	46.27
P ₂ O ₅	0.10	0.05	0.07	0.14
S	1.89	1.86	0.76	0.28
C**	34	48	35	40
Mineralogical composition wt. %				
Quartz	56	37	2	32
Muscovite	6	12		14
Pyrite	2	3		
Microcline				14
Actinolite			34	
Albite			19	
Kaolinite			2	
Chlorite			8	
pH				
0.1 hour**RUS	5.4	3.4	5.9	6.1
24 hours**FIN	4.3	3.1	5.4	4.9
0.1h/24h/ 28 days **RUS	4.5/4.3/3.8	4/3.5/3.3	5.9/5.8/5.8	5.5/4.8/4.7

Note. *LOI, loss on ignition (includes losses of C, water, sulfides, carbonates).

**C was determined by derivatography.

**RUS filtrate, fraction less than 0.1 mm, water / shungite = 20.

**FIN fraction less than 2 mm, water / shungite = 10, continuous mixing.

**RUS fraction 1–3 mm, water / shungite = 10

ed Russian express method (solid-liquid: 1:10, filtrate, about 5 minutes of exposure), ranging from 6.1 to 3.4 (*RUS in Table).

At the same time, measurements made in Finland (**FIN in Table) on fractions about 2 mm at 24-hour exposure differ significantly. Additional experiments conducted in Russia (**RUS in Table) showed changes in pH over time. As the sample spent more time in water, the pH decreased to varying degrees for different shungite rocks

and stabilized with slight variations after a few days (Table). Note that for samples 1 and 4 there is a complete correspondence in pH values obtained in Russia and Finland, and for samples 2 and 3 there is some difference. The pH differences may indicate both a greater heterogeneity of samples 2 & 3 and some differences in the leaching processes of anionic and cationic complexes among the selected samples. Naturally, these pH changes are observed only in a closed volume and have higher values in the presence of water flow. However, directly in the contact layer of shungite rock and water, pH affects the leaching of chemical elements from samples, their ion exchange reactions and sorption properties.

The results of experiments on the leaching of some chemical elements from shungite rocks in a closed volume are shown in Fig. 1. The total number of metals determined from the leachate with ICP-MS was 26, including phosphorus. Samples 1 and 2 showed fairly high degrees of leaching of chemical elements, among which the concentrations of Ni (0.4 mg/kg) and Zn (4 mg/kg) exceeded the permissible limits, and therefore they are not environmentally acceptable, nor can potentially become commercial fractions. In fact, shungite 2 exceeded also inert material values for leaching of Cu, Cd and Se. However, non-hazard limits were not exceeded for any of these. Thus, the results obtained do not allow us to consider Shungite 1 and Shungite 2 as a filter material in static conditions or at low water consumption.

Data on the sorption activity of shungite rocks with respect to cationic and anionic complexes for the case of methylene blue (MB) and methanil yellow (MY) are shown in Fig. 2. Sample 3 has the highest sorption activity for cationic complexes, and sample 2 has the lowest sorption activity. However, sample 2 has a higher sorption activity relative to anionic complexes, and sample 3 has a lower sorption activity. The adsorption properties of shungite rock are probably due to the combination of fine mineral components evenly distributed in the carbon matrix and the presence of various functional groups, which facilitates the formation of adsorption centers of different nature.

To determine the sorption activity of shungite rocks for ions of various metals and complexes, a model mixture containing Cu – 57.5 ppm, Zn – 94.9 ppm, Na – 96.3 ppm, and P – 42.4 ppm was used. The results of the experiment shown in Fig. 3 demonstrate the high efficiency of samples 3 and 4 for the sorption of Cu and Zn, while negative values for the sorption of Na, Mg and Ca indicate the leaching of these elements from the third sample during the experiments. Changes in the concentration of metals in the solution

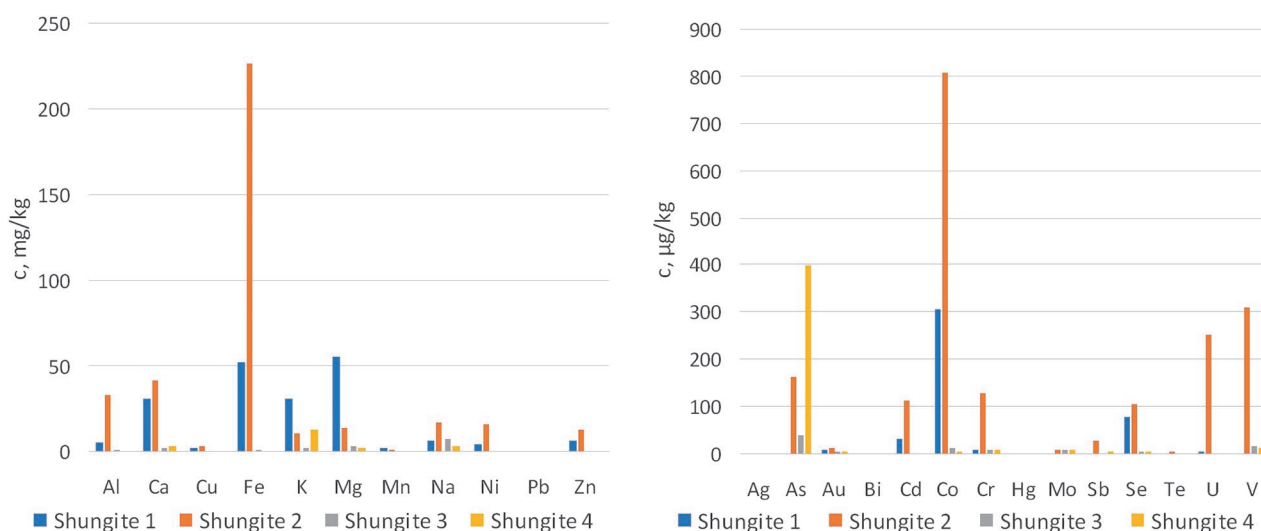


Fig. 1. Results for some metals from leaching test (L/S = 10). Inert waste had values at the threshold, for example regarding Ni (0.4 mg/kg), and Zn (4 mg/kg). Therefore shungite samples 1 and 2 would not be environmentally feasible in Finland, or activation with thermal or chemical treatment would be required

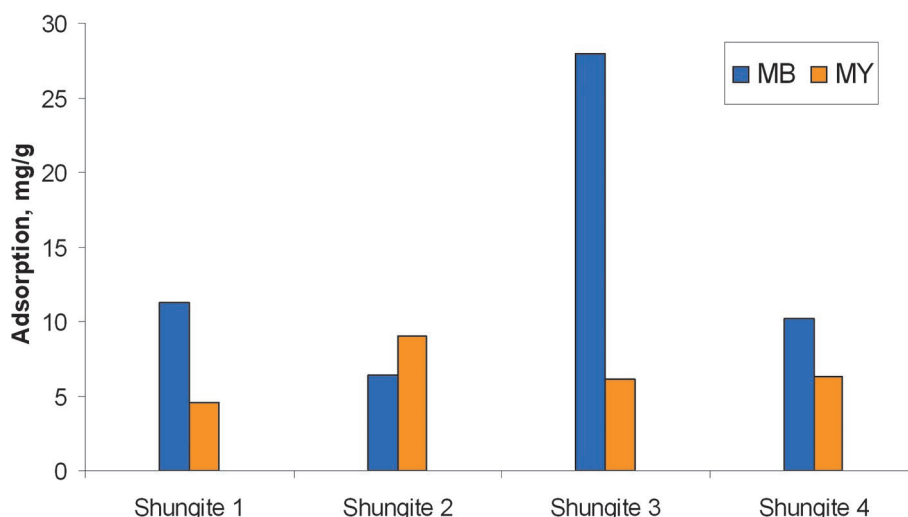


Fig. 2. Sorption activity of shungite rocks with respect to cationic and anionic complexes for the case of methylene blue (MB) and methanyl yellow (MY) for shungite 1, 2, 3 and 4

affect the sorption efficiency (Fig. 4). At the same time, based on the sorption kinetics, it follows that ion-exchange processes occur very quickly and do not require a long contact time.

The compatibility of shungite rocks with effective microorganisms is of particular interest. Previously, it was found that shungite rocks have sorption activity in relation to pathogenic microflora [Zaguralskaya, 1990]. This effect may be related to the chemistry of shungite rock, in particular the content of trace elements, lanthanides, which cause selective coagulation of bacterial cells by complexing lanthanide cations with nucleic acids of microorganisms through phosphate groups [Ponomarev et al., 2017]. It can also be explained by the presence of natural biotopes long associated with shungite rocks, such as chemoorgano-

trophic, methylotrophic and chemolithotrophic bacteria (*Proteobacteria*, *Actinobacteria* and *Firmicutes*) [Sidorova et al., 2019], suppressing the reproduction of “foreign” microorganisms.

Experiments conducted at LUT University have shown that shungite rock inhibits the functioning of effective microorganisms, unlike, for example, ceramics. Moreover, the growth of own microorganisms present on shungite increases. That does not allow shungite and effective microorganisms to be used together in direct contact. However, heat-treated shungite rock proved to be compatible with effective microorganisms, since their growth is observed on the surface (Fig. 5).

The use of effective microorganisms involves the destruction of dissolved organic compounds by microorganisms. In this case, some of the sub-

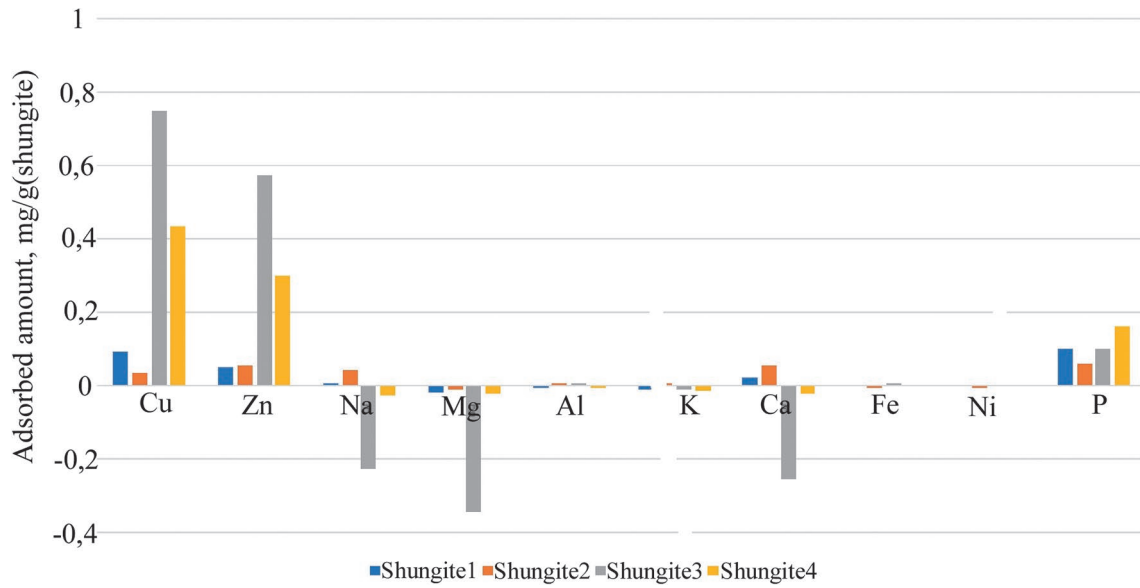


Fig. 3. Results of the metals adsorption test. The results are in mg/g (shungite). Negative bars indicate that the element in question has been released from the shungite during the adsorption experiment

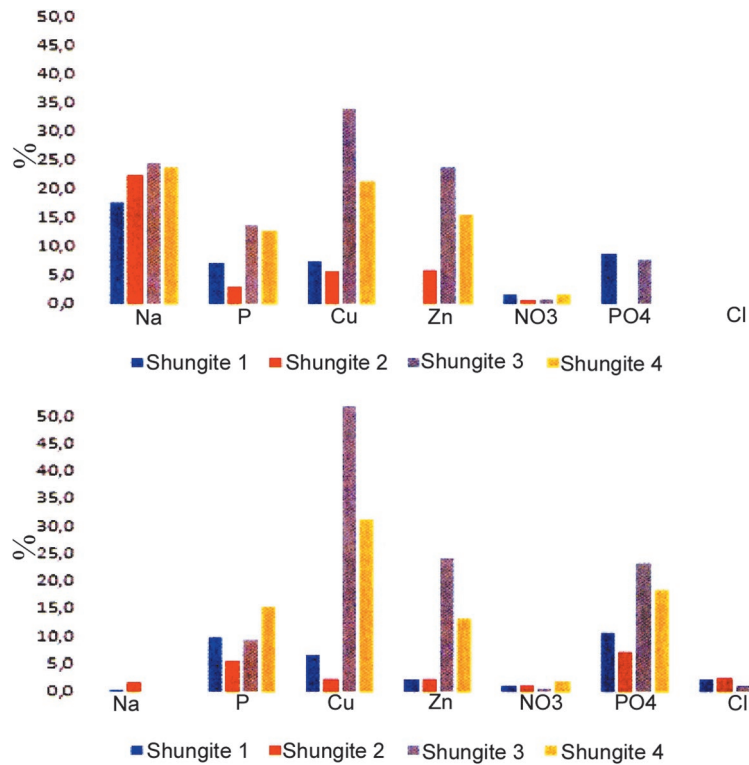


Fig. 4. Results of the metals adsorption test. The results are given in % for a) high concentration, and b) lower concentration of the metals. Adsorption mechanisms are affected by the ion concentration in the solution (Na). Nitrate removal is inefficient with any shungite fraction studied

stances are mineralized, while others are used by microbes in constructive metabolism, resulting in a significant increase in their concentration in the treated water. Secondary water pollution happens. Living microorganisms themselves become a source of contamination, even in the case of complete non-pathogenicity, and contribute

to the eutrophication (bloating) of waters. Therefore, biological treatment must be accompanied by the removal of microorganisms.

One of the methods for removing microorganisms from the water is the adsorption of microorganisms onto the surface of solids. In this regard, effective sorption of microorganisms, including

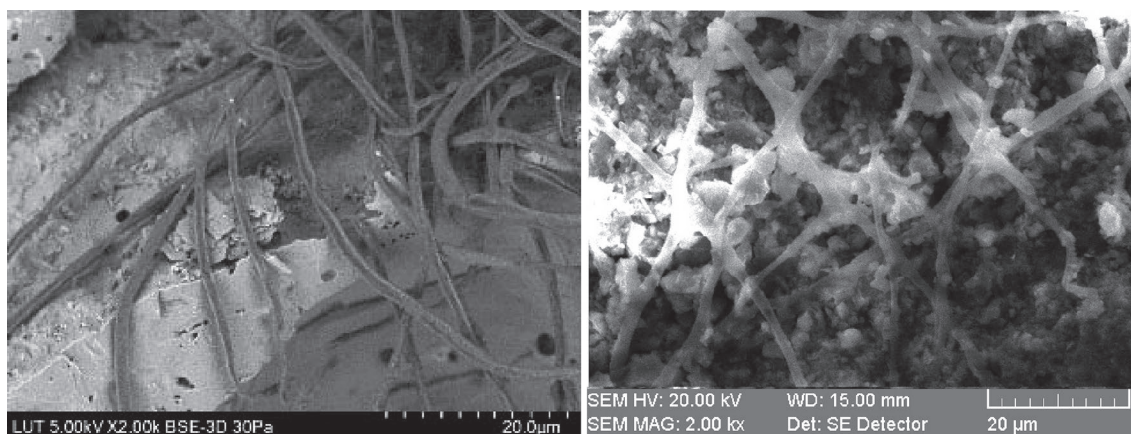


Fig. 5. Effective microorganisms on the surface of ceramics (LUT University) and thermally (400 °C) modified shungite rock (IG KarRC RAS)

effective microorganisms, can be a positive effect in a two-stage water purification process. For example, at the first stage, water passes through a layer of ceramics (and/or thermally modified shungite rock) as a carrier of effective microorganisms. At the second stage, which involves unmodified shungite rock, not only various undesirable chemical impurities, but also various members of the microflora and effective microorganisms are removed by sorption.

An important feature of shungite rock is the possibility of regeneration, which enables an extension of the service life of the material as a sorbent. In particular, when studying the sorption of higher alcohols and other impurities from water-alcohol solutions, the formation of sufficiently strong adsorption systems was detected, which, however, decompose completely at 180°C heat treatment in the vacuum, which leads to regeneration and some increase in the surface and sorption volume of shungite. This effect of restoring the adsorption centers on the surface of shungite was observed during five sorption cycles [Mel'nik et al., 2017].

Thus, the study allows us to use the identified patterns not only to determine the criteria for selecting the most effective industrial types of shungite rocks for water treatment, but also to substantiate possible water purification setups and filter elements setups.

Conclusions

Shungite rocks of the sixth, fourth and second stratigraphic levels of the Zaonezhskaya formation of the Paleoproterozoic era in Karelia were studied with view to their potential application in innovative water purification setups as a potential filter material in combination with useful microbiota (yeast, lactic acid bacteria, etc.). It is shown that

shungite rocks of the sixth level have a higher degree of leaching of various chemical elements from them. Among the studied samples, the maximum sorption activity was found in the more alkaline and less siliceous rock of the second level, which sorbs higher concentrations of heavy metals. Shungite rock not subjected to any thermal or chemical treatment inhibits the reproduction of useful microbiota, but after heat treatment it shows good compatibility with this microbiota, like ceramics.

Based on our results, rock from the second stratigraphic level appears to be the most promising as a filter material. At the same time, a two-stage filter is assumed to be optimal for water treatment. The first layer should consist of a ceramic or heat-treated shungite rock, with an effective functioning of useful microbiota that recovers a wide range of contaminants from the water. The second layer is untreated shungite rock, which absorbs heavy metals and some organic compounds, and disinfects water from microorganisms to prevent eutrophication.

The research was carried out within the framework of the KS1460 (SHEM-WP), ENI South-East Finland – Russia CBC Programme, and with financial support from the Federal budget for the implementation of the state order to KarRC RAS (IG KarRC RAS, research topic no. AAAA-A18-118020690238-0, to VVK and VSR).

References

Alekseev A. I., Churkina O. S., Golubev P. V. Study of chemistry of sorption of iron (III) cations by carbon-containing compounds. *Proceed. St. Petersburg St. Tech. Inst. (Tech. Univ.)*. 2016. No. 36(62). P. 48–51. (In Russ.)

Buseck P. R., Galdobina L. P., Kovalevski V. V., Rozhkova N. N., Valley J. W., Zaidenberg A. Z. Shungites: the C-rich rocks of Karelia, Russia. *Can. Mineral.* 1997. Vol. 35(6). P. 1363–1378.

Chazhengina S. Yu., Kovalevski V. V. Raman spectroscopy of weathered shungites. *J. Raman Spectroscopy.* 2017. Vol. 48(11). P. 1590–1596. doi: 10.1002/jrs.5188

Deines Yu. E., Kovalevski V. V., Kochneva I. V., Moshnikov I. A., Rozhkova V. S. Physical and chemical properties of shungite rocks from different stratigraphic levels of the Zaonezhye suite. *Trans. KarRC RAS.* 2020. No. 2. P. 84–89. doi: 10.17076/geo1187. (In Russ.)

Dallakyan G. A., Mosharova I. V., Il'inskiy V. V. Influence of shungite on the number of bacterioplankton during the experiments in vitro. *Public Health and Life Environ.* 2017. No. 11(296). P. 16–19. (In Russ.)

Kalinin Yu. K., Kalinin A. I., Skorobogatov G. A. Shungites of Karelia – for new building materials, in chemical synthesis, gas treatment, water treatment and medicine. St. Petersburg: UNC SPBU, VVM, 2008. 219 p. (In Russ.)

Kim T. Y., Lee S.-H., Ku H., Lee S.-Y. Enhancement of drought tolerance in cucumber plants by natural carbon materials. *Plants.* 2019. Vol. 8(11). P. 446–461. doi: 10.3390/plants8110446

Kupryakov S. V. Report on the results of search operations conducted in the Onega structure in 1985–1988. Petrozavodsk, 1988. 148 p. (In Russ.)

Mel'nik L. M., Tkachuk N. A., Turchun O. V., Di-yuk V. E., Ischenko O. V., Byeda O. O., Kisterska L. D., Loginova O. B., Lysovenko S. O., Gontar O. G., Garashchenko V. V. Adsorption properties of shungite in purification of water – alcohol solutions. *J. Superhard Mat.* 2017. Vol. 39(6). P. 416–421. doi: 10.3103/S1063457617060053

Ponomarev A. P., Podolets A. A., Makina O. A. The use of aqueous extract of shungite mineral for the removal of bacterial flora from water. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2017. No. 9. P. 17–24. (In Russ.)

Ponomarev A. P. Aqueous extract of shungite mineral – a complexing agent for microorganisms in aqueous

solution purification. *Water Supply and Sanitary Technique.* 2018. No. 7. P. 11–17. (In Russ.)

Romashkin A. E., Rychanchik D. V., Golubev A. I. REE geochemistry of carbonaceous rocks in the Onega structure. *Geol. and Minerals of Karelia.* 2014. Iss. 17. P. 74–85. (In Russ.)

Rozhkova V. S., Kovalevski V. V., Kochneva I. V., Lozovik P. A. About possibility of use of shungite rocks of Karelia in water conditioning. *Mining J.* 2012. No. 5. P. 64–67. (In Russ.)

Rozhkova V. S., Kovalevski V. V. Determination of adsorption of cationic and anionic dyes onto shungite by Raman spectroscopy. *Spectroscopy.* 2019. Vol. 34(7). P. 45–54. URL: <http://www.spectroscopyonline.com/determination-adsorption-cationic-and-anionic-dyes-shungite-raman-spectroscopy> (accessed: 18.05.2020).

Shalimov A. S., Kovalevski V. V., Obrezkov O. N., Yaroslavl'tsev A. B. Sorptive properties of shungite. *Inorganic Mat.* 2004. Vol. 40(4). P. 364–367. doi: 10.1023/B:INMA.0000023956.54637.b8

Shishkov A. Yu. Emerging prospects of mining waste utilization in the Karelian-Kola region. *Trans. KarRC RAS.* 2020. No. 2. P. 90–97. doi: 10.17076/geo1182 (In Russ.)

Shungites of Karelia and ways of their all-purpose utilization. Eds. Sokolov V. A., Kalinin Yu. K. Petrozavodsk: Karelia, 1975. 240 p. (In Russ.)

Sidorova N. A., Savushkin A. I., Trofimova S. A., Kovalevski V. V. Biodiversity of aboriginal bacterial communities in the shungites of the Onega structure. *Environ. probl. of the northern regions and ways to solve them.* (June 16–22, 2019, Apatity, Russia). Apatity: Kola RC RAS, 2019. P. 256–257. (In Russ.)

Szczetinskaya O. S., Soboleva O. A. The purification of waste water from chromium compounds with shungite. *Bull. Tech. Univ.* 2017. Vol. 20(20). P. 128–132. (In Russ.)

Zagural'skaya L. M. Report T. 97. Microbiological control of the degree of wastewater treatment with shungite rocks. Petrozavodsk: KarRC of the USSR Acad. Sci., 1990. 22 p. (In Russ.)

Received May 21, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ковалевский Владимир Викторович

заведующий лаб. геологии и технологии шунгитов
Отдела минерального сырья, д. г.-м. н.
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kovalevs@krc.karelia.ru

Рейникайнен, Сату-Пиа

профессор
Технологический университет Лаппеенранта
Лаппеенранта, Финляндия, FIN-53850
эл. почта: Satu-pia.reinikainen@lut.fi

CONTRIBUTORS:

Kovalevski, Vladimir

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

Reinikainen, Satu-Pia

LUT University, Lappeenranta, Finland
Yliopistonkatu 34, FIN-53850 Lappeenranta, Finland
e-mail: Satu-pia.reinikainen@lut.fi

Рейникайнен, Вилле

менеджер проектов
Экологическое управление региона Лаппеенранта
Лаппеенранта, Финляндия, FIN-53100
эл. почта: Ville.reinikainen@lut.fi

Рожкова Виктория Сергеевна

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

Сихвонен, Туомас

исследователь
Технологический университет Лаппеенранта
Лаппеенранта, Финляндия, FIN-53850
эл. почта: Tuomas.sihvonen@lut.fi

Reinikainen, Ville

Environmental Office of Lappeenranta Region, Finland
Pohjolakatu 14, FIN-53100 Lappeenranta, Finland
e-mail: Ville.reinikainen@lut.fi

Rozhkova, Victoria

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

Sihvonen, Tuomas

LUT University, Lappeenranta, Finland
Yliopistonkatu 34, FIN-53850 Lappeenranta, Finland
e-mail: Tuomas.sihvonen@lut.fi

УДК 549.514.5: 622.7 (470.22)

ВЫСОКОКРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ – ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ

Е. Н. Светова, Т. П. Бубнова, О. В. Букчина

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

Представлены результаты минералого-технологического исследования высококремнистых пород Центральной Карелии, выполненного с целью оценки возможности их использования в качестве перспективного природного материала для получения кварцевых концентратов различного назначения. Вулканогенно-осадочные архейские силициты, галечный кварц из палеопротерозойских кварцевых конгломератов и слабопрозрачный жильный кварц проанализированы методами оптической и электронной микроскопии, микрозондового, рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализа, атомно-эмиссионной спектрометрии. Проведены исследования обогатимости данных пород. Технологическими испытаниями обогатимости силицитов Эльмусской структуры показана возможность получения на их основе кварц-полевошпатового концентрата, отвечающего требованиям ГОСТ 7030-75 на сырье для производства тонкой керамики ($Fe_2O_3 \leq 0,2\%$, $K_2O+Na_2O \geq 8\%$, $K_2O/Na_2O = 2$). Кварцевые концентраты из галечного кварца конгломератов благодаря низкому содержанию Li, B и P соответствуют требованиям к кварцевому сырью для производства ферросилиция высоких марок. Полученный на основе слабопрозрачного жильного кварца концентрат фракции $-0,315 + 0,1$ мм с суммарным содержанием примесей 34,6 ppm соответствует требованиям сорта глубокого обогащения КГО отдельных марок (ТУ 5726-002-11496665-97) для производства особо чистого прозрачного кварцевого стекла, применяемого в производстве полупроводниковых материалов, электронике, светотехнике, средств волоконно-оптической связи.

Ключевые слова: кварцевое сырье; высококремнистые породы; обогащение; кварцевые концентраты; Центральная Карелия.

E. N. Svetova, T. P. Bubnova, O. V. Bukchina. HIGH-SILICA ROCKS OF CENTRAL KARELIA – A POTENTIAL SOURCE OF QUARTZ RAW MATERIAL

The results of mineralogical-technological study of high-silica rocks of Central Karelia are discussed with a view to assessing the potential of using these rocks as natural material for producing quartz concentrates for various applications. Weakly transparent vein quartz, pebble quartz from Paleoproterozoic conglomerates and volcanogene-sedimentary silicites were subjected to optical and electron microscopy, microprobe analysis, X-ray fluorescence and diffraction analysis, atomic emission spectrometry. Technological studies of the silicites showed they can be enriched to produce quartz-feldspatic concentrate meeting the requirements to feedstock for fine ceramics ($Fe_2O_3 \leq 0.2\%$, $K_2O+Na_2O \geq 8\%$, $K_2O/Na_2O = 2$). Owing to low Li, B and P content, quartz concentrates made from pebble quartz conglomerates fulfill the requirements for raw material for high-grade ferrosilicon production. Processing experiments were carried out, showing that the quartz concentrate of the $-0.315 + 0.1$ mm fraction obtained from weakly transparent

vein quarts, with 34.6 ppm total impurity content meets the requirements for high purity quartz products of some grades (TU 5726-002-11496665-97) and is suited for extra pure fused glass utilizable in the manufacturing of semiconductor materials, electronics, lighting engineering, means of fiber-optic communication.

Key words: quartz raw material; high-silica rocks; processing; quartz concentrates; Central Karelia.

Введение

В 1995–2000 годах Институтом геологии КарНЦ РАН совместно с Северной поисково-разведочной экспедицией проводились исследования по проекту «Прогнозно-минерагеническое изучение Республики Карелия в масштабе 1:1 000 000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий». Результаты выполненных работ, включавших полевые и аналитические исследования, лабораторные испытания обогатимости кварцевого сырья, показали потенциал не только традиционно известной Беломорской пегматитовой провинции, но и всей территории Карелии, где были выделены перспективные минерагенические зоны, кварценозные районы и узлы, в том числе целый ряд новых для региона объектов [Родионов, Щипцов, 2000; Голованов и др., 2006]. Вместе с тем были даны рекомендации по проведению дальнейших поисковых и прогнозно-минерагенических исследований на территории Карелии, которые реализуются и в настоящее время, в отношении как традиционно, так и нетрадиционного кварцевого сырья.

К перспективным на нетрадиционное кварцевое сырье объектам в Центральной Карелии может быть отнесена Гирвас-Эльмусская зона (географически р-н пос. Гирвас – пос. Эльмус в 100–120 км к северу от г. Петрозаводска), в пределах которой широкое развитие имеют кварцевые конгломераты и песчаники, кварциты, аркозы, выходы коренных кварцевых жил и высококремнистые вулканогенно-осадочные породы (силициты). В настоящей работе представлены результаты минералого-технологического исследования некоторых типов кварцевого сырья обозначенной территории, выполненного с целью оценки возможности их использования в качестве перспективного природного материала для получения кварцевых концентратов различного назначения.

Объекты и методы исследования

Основу исследования составили следующие разновидности высококремнистых пород Цен-

тральной Карелии, имеющие достаточную геологическую изученность: архейские силициты вулканогенно-осадочного генезиса, галечный кварц из палеопротерозойских конгломератов и слабопрозрачный жильный кварц. Места опробования пород схематично представлены на рис. 1.

Силициты – высококремнистые породы, широко проявлены в составе мезоархейских андезит-дацитов, риолитовой (Эльмусская структура) и коматиит-базальтовой (Койкарская структура) ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии. Формирование осадочных пород приурочено к деятельности подводных гидротермальных систем, существующих в областях активного вулканизма, и соответствует возрастному интервалу 3,0–2,84 млрд лет [Вулканизм..., 1981]. Силициты образуют горизонты в верхних частях изучаемых вулканогенно-осадочных разрезов, представленных стратифицированными, чередующимися слоями полимиктовых конгломератов, песчаников, туфов дацитового состава, туффитов, полевошпатовых граувакк, доломитов с прослоями углеродсодержащих алевролитов. Среди силицитов выделяются тонкослоистые, однородные массивные, сливные и конкреционные разности, между которыми существуют взаимопереходы [Светова, 1988]. Мощность высококремнистых прослоев в разрезах достигает 30–50 м при значительном площадном распространении.

Для оценки возможных областей использования силицитов изучены тонкослоистые разновидности силицитов Эльмусской структуры, варьирующие по цвету от серовато-розовых до темно-красных. Опробование (12 лабораторных проб и одна валовая технологическая проба массой 65 кг) выполнено на трех равноудаленных участках, расположенных вдоль профиля длиной 100 м.

Палеопротерозойские (ятулийские) кварцевые конгломераты изучены в районе пос. Гирвас, где они, перекрывая архейские комплексы Койкарской структуры, формируют значительную часть осадочной толщи мощностью 25–30 м (относимой к нижнему уровню ятулия Койкарской формации [Melezhik et al.,

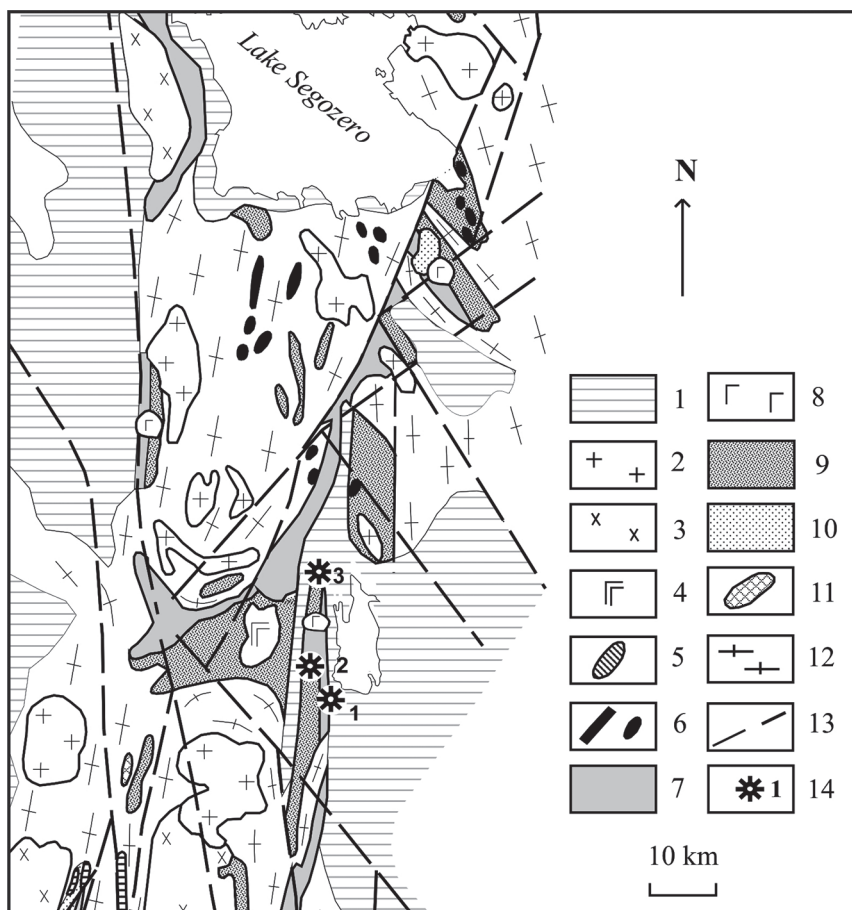


Рис. 1. Упрощенная схема геологического строения центральной части Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса [Светов, 2005]:

палеопротерозойские образования: 1 – супракрустальные образования (2,50–2,10 млрд лет); неоархейские образования: 2 – плагиомикроклиновые граниты (2,85–2,87 млрд лет), 3 – диориты, гранодиориты, санукитоиды (2,74 млрд лет); 4 – габбродиориты; 5 – габбронориты; 6 – основные и ультраосновные породы; мезоархейские образования: 7 – андезидацитовые вулканы и вулканогенно-осадочные породы (2,86–2,85 млрд лет), 8 – высокомагнезиальное габбро, 9 – коматиит-базальтовая ассоциация и вулканогенно-осадочные породы (3,0–2,95 млрд лет), 10 – вулканы БАДР-серии и вулканогенно-осадочные породы (3,05–2,94 млрд лет); 11 – амфиболиты; 12 – гнейсо-граниты и мигматит-граниты (3,15–2,95 млрд лет), 13 – разломы; 14 – места отбора проб: 1 – кварцевые конгломераты п. Гирвас, 2 – кварцевые жилы в пределах Койкарской структуры; 3 – силициты Эльмусской структуры

Рис. 1. A simplified scheme of the geological structure of the central part of the Vedlozersko-Segozersky greenstone belt [Svetov, 2005]:

Paleoproterozoic formations: 1 – supra-crystalline formations (2.50–2.10 Ga); Neoarchean formations: 2 – plagiomicrocline granites (2.85–2.87 Ga), 3 – diorites, granodiorites, sanukitoids (2.74 Ga); 4 – gabbrodiorites; 5 – gabbronorites; 6 – basic and ultrabasic rocks; Mesoarchean formations: 7 – andesidacitic volcanics and volcanic-sedimentary rocks (2.86–2.85 Ga), 8 – high-magnesian gabbro, 9 – komatiite-basalt association and volcanic-sedimentary rocks (3.0–2.95 Ga), 10 – volcanics of the BADR series and volcanic-sedimentary rocks (3.05–2.94 Ga); 11 – amphibolites; 12 – gneiss granites and migmatite granites (3.15–2.95 Ga), 13 – faults; 14 – sampling sites: 1 – quartz conglomerates of the Girvas area; 2 – quartz veins within the Koikarskaya structure; 3 – silicites of the Elmus structure

2013]), сформированную гравелитами, раз-
нозернистыми песчаниками и алевролита-
ми, и имеют латеральное распространение до
2–3 км². Гальки кварца размером от единиц

до первых десятков сантиметров слагают зна-
чительную часть галечного материала в кон-
гломератах (до 90 % на отдельных участках),
присутствуют также гальки силицитов, гра-

фитистых сланцев, подстилающих базальтов. Цемент в конгломератах представлен кварцито-песчаниками – плотными светлыми серо-зелеными породами крупно- и среднезернистой структуры кварцево-серицитового и кварцево-серицито-хлоритового состава с признаками рассланцевания и ожелезнения.

Оценка качества кварца из Гирвасских конгломератов на единичных образцах галек проводилась ранее [Щипцов и др., 1998]. С целью определения возможности использования галечного кварца из конгломератов в качестве материала для получения кварцевых концентратов высокой чистоты выполнено детальное опробование разных уровней конгломератовой толщи (по латерали и разрезу). Изучено 12 образцов кварцевых галек размером от 10 до 20 см по длинной оси, макроскопически различающихся между собой по цвету, степени прозрачности и количеству минеральных включений. Для экспериментов по обогащению галечного кварца использованы две валовые технологические пробы кварцевых галек с высокой и низкой степенью минерализации.

Жильный кварц в пределах рассматриваемой территории изучен на примере выявленных и описанных ранее коренных кварцевых жил, секущих архейские мафитовые, андезитовые и вулканогенно-осадочные комплексы в центральной части Койкарской структуры [Родионов, Щипцов, 2000; Данилевская и др., 2004]. Опробование выполнено по четырем коренным кварцевым жилам в районе озер Питки-Лампи, Калиево-Лампи и Ристи-Лампи (2 км к северу от пос. Гирвас). Видимая мощность жил варьирует от 3 до 5 м, протяженность – до 20 м. Жилы сложены серовато-белым, иногда до дымчатого, средне- и крупнозернистым слабопрозрачным кварцем. На контакте с вмещающими породами наблюдаются прослои тальк-хлоритового состава мощностью до 3 см, вытянутые параллельно простиранию жил. Отобрано 15 образцов жильного кварца и одна валовая технологическая проба массой 20 кг.

Для химических и минералого-петрографических исследований были изготовлены шлифы, аншлифы и порошковые препараты. На технологических пробах проведены эксперименты по обогащению.

Определение возможности использования нетрадиционных типов пород как сырья для получения высококачественных кварцевых продуктов включает подбор эффективных технологий их очистки, учитывающих типоморфные особенности кварца конкретных объектов. Для выявления минералого-технологических особенностей высококремнистых пород задей-

ствован комплекс методов минералого-петрографического исследования. Изучение шлифов проведено с использованием оптического микроскопа ПОЛАМ Р-211. Силикатный анализ пород выполнен методом рентгенофлуоресцентного спектрального анализа (РФСА) на спектрометре Thermo Scientific ARL Advant'X (аналитик С. В. Бурдюх). Методом рентгеновской дифракции (дифрактометр ARL X'TRA Thermo Scientific) определен фазовый состав высококремнистых пород и получена количественная структурная характеристика кварца (аналитик И. С. Инина). Изучение морфологии и химического состава минералов высококремнистых пород, микровключений в кварце выполнено с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments). Содержание элементов-примесей в кварцевых концентратах определено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) в НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва). Исследования обогатимости высококремнистых пород проведены под руководством Л. С. Скамницкой на лабораторном оборудовании отдела минерального сырья Института геологии КарНЦ РАН.

Результаты и обсуждение

Силициты. Согласно петрографическим исследованиям, основными породообразующими минералами силицитов являются кварц, калиевые и натриевые полевые шпаты размером от 0,001 до 0,01 мм, в подчиненном количестве присутствует мусковит, биотит, кальцит, хлорит (рис. 2). Среди аксессуаров отмечаются циркон, пирит, титанит, фторапатит, молибденит, алланит, паризит и ряд редкоземельных фаз. Рентгенофазовым анализом установлено, что силициты имеют кварц-полевошпатовый или мусковит-полевошпат-кварцевый состав: в отдельных пробах содержание кварца достигает 52 %, наблюдаются значительные вариации в содержании полевых шпатов и мусковита (табл. 1).

Химический состав силицитов определяется вариациями минерального состава и характеризуется преобладанием SiO_2 (71–77 мас. %) и Al_2O_3 (13–16 мас. %). В меньшем количестве отмечаются K_2O (4–7 мас. %), Na_2O (1–5 мас. %), FeO (0,2–1 мас. %). Усредненные данные о химическом составе малых лабораторных проб по отдельным участкам приведены в табл. 2. По содержанию оксидов щелочных металлов ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) ~ 9 % и величине калиевого модуля ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \geq 2$) рассматриваемые

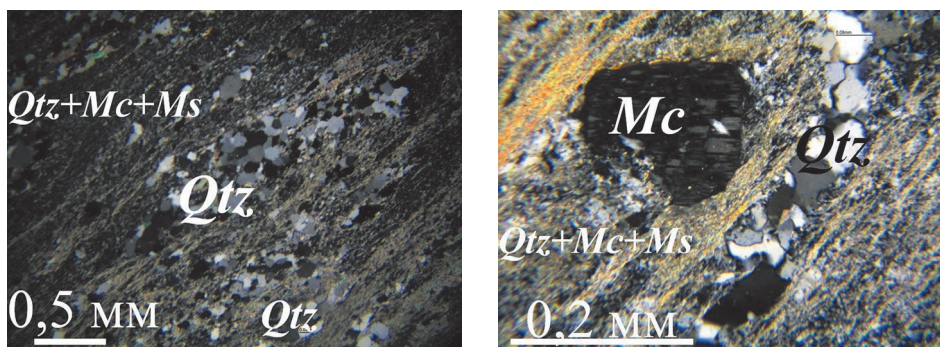


Рис. 2. Тонкослоистая структура силицитов. Фото шлифов, николи ×.

Qtz – кварц, Mc – микроклин, Ms – мусковит

Pic. 2. Thin-bedded structure of silicites. Photo of thin sections, nicols ×.

Qtz – quartz, Mc – microcline, Ms – muscovite

Таблица 1. Минеральный состав силицитов Эльмусской структуры по данным рентгенофазового анализа, %

Table 1. Mineral composition of silicites of the Elmuss structure according to the X-ray phase analysis data, %

Минерал Mineral	Участок 1 Site 1				Участок 2 Site 2				Участок 3 Site 3			
	E-4/1	E-4/2	E-4/3	E-4/4	E-5/1	E-5/2	E-5/3	E-5/4	E-6/1	E-6/2	E-6/3	E-6/4
Кварц / Quartz	30,4	29,5	34	44,6	51,8	33,4	36,6	40,4	49	47,9	44,4	44,1
Альбит / Albite	44	39,5	30,9	9,1	19	15,6	43,2	35,1	20,1	19,5	22,4	33,8
Микроклин / Microcline	21,4	28,9	25,9	36,5	10,4	46,6	18,5	20,4	14,5	16	18,5	8,7
Мусковит / Muscovite	4,2	1,8	9,1	8,6	18,0	4,5	1,7	1,6	15,3	15,5	13,9	4,1
Хлорит / Chlorite	–	0,3	–	1,1	0,7	–	–	2,6	1,1	1,1	0,7	3,3
Кальцит / Calcite	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6

породы соответствуют требованиям промышленности к полевошпатовой продукции, однако по содержанию FeO (входящего главным образом в состав железистых слюд) нуждаются в дополнительном обогащении [Тохтасьев, 1998].

Эксперименты по обогащению силицитов Эльмусской площади подробно изложены в отдельной работе [Скамницкая и др., 2016]. Резюмируя результаты, отметим, что минералогическими исследованиями и магнитным анализом узких фракций силицита (–1 + 0,25 и –0,25 + 0,05 мм) установлено, что качество кварц-полевошпатовых концентратов определяется количеством и размером трудно-раскрываемых микронных включений мусковита, частичное раскрытие которого начинается с класса 0,25 мм и менее. Лабораторные исследования показали, что методом магнитной сепарации измельченного до 0,25 мм и обеспыленного по классу 0,063 мм силицита можно получить кварц-полевошпатовый концентрат с массовой долей Fe₂O₃ менее 0,2 %, отвечающий требованиям ГОСТ 7030-75 на сырье для производства тонкой керамики (Fe₂O₃ ≤ 0,2 %,

Таблица 2. Усредненный химический состав малых лабораторных проб силицитов Эльмусской структуры по данным РФСА, мас. %

Table 2. Average chemical composition of silicites of the Elmuss structure according to the RFA data, wet. %

Оксиды Oxides	Участок 1 Site 1	Участок 2 Site 2	Участок 3 Site 3
SiO ₂	74,60	75,51	74,04
TiO ₂	0,08	0,07	0,07
Al ₂ O ₃	13,15	13,33	14,17
FeO _{общ}	0,39	0,41	0,28
CaO	0,93	0,54	0,70
MgO	0,77	0,53	0,62
Na ₂ O	3,28	3,21	3,21
K ₂ O	5,95	5,69	5,86
п. п. п. LOI	1,12	0,92	0,84
сумма sum	100,09	99,84	99,12
K ₂ O+Na ₂ O	9,22	8,90	9,07
K ₂ O/Na ₂ O	2,93	2,66	2,08

K₂O+Na₂O ≥ 8 %, K₂O/Na₂O = 2). При этом выделение кварца в отдельный продукт не является

необходимой операцией, т. к. тонкое срастание полевых шпатов и кварца в силицитах является положительным фактором с позиций керамики.

Альтернативным вариантом применения вулканогенно-осадочных силицитов Центральной Карелии может быть их использование в качестве сырья для изготовления высокопрочного щебня и наполнителя при производстве различных строительных материалов [Скамницкая и др., 2017].

Кварцевые конгломераты. Минералогическое петрографическое изучение галечного кварца показало, что все разновидности кварцевых галек содержат минеральные включения, развитые как внутри кварцевых зерен, так и по залеченным микротрещинкам. Основной минеральной примесью является мусковит, образующий преимущественно крупные (>200 мкм) лейсты, иногда в ассоциации с включениями магнетита и хлорита. В редких случаях отмечаются включения альбита, микроклина и кальцита. Микроминеральные включения мусковита, циркона, рутила, титанита, сфена, монацита, эпидота локализируются, как правило, внутри кварцевых зерен. Следует отметить, что в общей массе кварцевой гальки встречаются единичные обломки с чрезвычайно большим количеством крупных и мелких минеральных включений апатита, кальцита, амфибола, монацита и окислов железа. Наличие в общей массе гальки такого кварца в случае использования конгломератов

для получения кварцевых концентратов может негативно отразиться на качестве последних. Поэтому в задачи работы входила также оценка качества кварцевого продукта, получаемого на основе сильноминерализованного галечно-го кварца.

По данным силикатного анализа, содержание основных петрогенных оксидов в галечном кварце варьирует, мас. %: SiO₂ (95,8–98,0), Al₂O₃ (0,4–1,1), FeO_{общ} (0,1–0,9), CaO (0,2–0,3), K₂O (0,1–0,4), MgO (0–0,1). На порошковых дифрактограммах образцов галек присутствуют отражения α-кварца, других форм кремнезема не установлено. Значения параметров элементарной ячейки (ПЭЯ) галечного кварца, а также величины индекса кристалличности (I_{cr}), рассчитанные в соответствии с известной методикой [Murata, Norman, 1976], свидетельствуют о достаточной однородности кварца из галек и соответствии его гидротермальному жильному кварцу (табл. 3, рис. 3). В предыдущих исследованиях на основании геохимического анализа галечного кварца нами был сделан вывод о том, что основным источником терригенного материала при формировании конгломератовой толщи, вероятнее всего, являлись эродированные гидротермальные жилы нижележащего вулканогенного комплекса [Svetova et al., 2019].

Эксперименты по обогащению галечного кварца из конгломератов выполнены на мате-

Таблица 3. Параметры элементарной ячейки (a, c, V) и индекс кристалличности (I_{cr}) жильного кварца и галечного кварца конгломератов Центральной Карелии

Table 3. Lattice cell parameters (a, c, V) and crystallinity index (I_{cr}) for vein quartz and conglomerates pebble quartz of Central Karelia

Тип кварца Quartz type	№ пробы Probe No.	a, Å	c, Å	V, Å ³	I _{cr}
Конгломератовый Conglomerate	G-3	4,9137	5,4053	113,02	6,7
	G-4	4,9135	5,4053	113,01	7,4
	G-6	4,9134	5,4049	113,00	7,3
	G-7	4,9134	5,4050	113,01	7,5
	G-8	4,9133	5,4050	113,00	7,4
	G-10	4,9132	5,4048	112,99	7,1
	G-11	4,9136	5,4052	113,02	7,1
	G-12	4,9134	5,4050	113,00	7,2
	G-13	4,9135	5,4052	113,01	7,1
	G-14	4,9135	5,4050	113,01	7,0
	G-15	4,9135	5,4051	113,01	7,7
	G-17	4,9135	5,4051	113,01	6,5
Жильный Vein	Гир-4/1	4,9138	5,4055	113,03	7,6
	Гир-4/2	4,9135	5,4051	113,01	7,8
	Гир-4/3	4,9135	5,4056	113,02	7,7
	Гир-4/4	4,9140	5,4052	113,03	7,8
	Гир-4/5	4,9135	5,4051	113,01	8,3

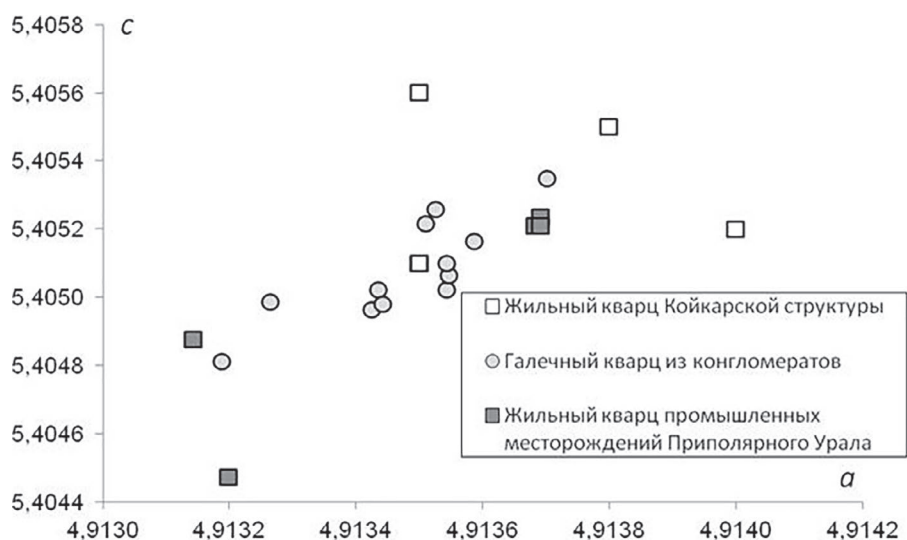


Рис. 3. Соотношение параметров a и c (Å) элементарной ячейки кварца из жил и галек конгломератов в сравнении с гидротермальным кварцем промышленных месторождений Приполярного Урала [Светова, Инина, 2012]

Pic. 3. Lattice cell parameters a and c ratio for quartz from veins and conglomerate pebbles in comparison with hydrothermal quartz of the Subpolar Urals deposits [Svetova, Inina, 2012]

риале двух технологических проб (№ 1 и № 10) и детально рассмотрены в нашей предыдущей работе [Скамницкая и др., 2014]. Основное отличие технологических проб заключается в степени загрязненности галечного кварца твердыми минеральными примесями. Галечный кварц пробы № 10 по сравнению с кварцем пробы № 1 является более чистым, среди включений в нем преобладают полевые шпаты, кальцит и мелкий мусковит. В кварцевой пробе № 1 доминирует мусковит, развитый в виде мелких чешуек и пластинок по границам кварцевых зерен. Стадия рудоподготовки включала дезинтеграцию горной массы, сортировку с отделением гальки, дробление, сухое измельчение с классификацией. Исходя из состава и размера минеральных примесей предварительное обогащение выполнено на крупке фракции $-0,4 + 0,1$ мм. Оно включало магнитную сепарацию, поцикловую флотацию железосодержащих минералов, слюд и полевых шпатов, СВЧ-обработку и выщелачивание в HCl (10% р-р, 1 ч, 100 °C). Характеристика кварцевых concentra-

тов, полученных из технологических проб № 1 и № 10, приведена в табл. 4. Валовое содержание примесей в кварцевых продуктах составляет 730 и 323 ppm. В составе примесей доминируют Al, K, Fe, Ca и Na, присутствие которых связано главным образом с невысвободившимися мельчайшими включениями слюды, полевых шпатов, карбонатов и отчасти может быть связано с составом газовой-жидких включений (ГЖВ) и структурными дефектами.

Использование плавиковой кислоты при последующих операциях глубокого обогащения, скорее всего, приведет к dealюминированию кварца, что может стать предметом дальнейших технологических исследований. Однако на данном этапе галечный кварц из конгломератов нельзя отнести к перспективному сырью для получения высокочистых кварцевых концентратов. Положительной характеристикой полученных кварцевых продуктов является низкое содержание Li, B и P, позволяющее рассматривать данный тип кварца как сырье для производства ферросилиция высоких марок.

Таблица 4. Содержание элементов-примесей в кварцевых концентратах из жильного кварца (1) и кварцевой гальки конгломератов (2/№ 1, 2/№ 10) Центральной Карелии, ppm

Table 4. Trace elements content in quartz concentrates from vein quartz (1) and from conglomerate pebble quartz (2/№ 1, 2/№ 10) of Central Karelia, ppm

№	Fe	Ti	Zr	Al	Mn	Sr	Zn	B	Mg	Ca	Ba	Ni	Cr	Cu	K	Na	Li	Ge	P	Co	Σ
1	1,6	4,0	0,03	12	0,03	0,13	0,05	0,34	1,1	1,9	0,10	0,03	0,03	0,07	2,5	9,5	0,3	0,32	<0,2	0,01	34,6
2/№ 1	57	6,9	0,61	415	0,51	0,13	0,05	0,9	12	16	3	0,14	0,12	0,32	208	7,7	0,05	1,2	0,1	0,05	730
2/№ 10	36	3,5	0,24	140	0,42	0,32	0,20	2,2	15	28	2,2	0,02	0,05	0,07	80	14	0,07	0,25	0,1	0,01	323

Жильный кварц. По данным петрографического изучения, кварц неравнозернистый, в различной степени деформированный (рис. 4, а). В крупных зернах первичного кварца, в межзерновом пространстве или вдоль извилистых трещин деформаций наблюдаются мелкие зерна новообразованного кварца, формирующие тонкие прожилки или гнездообразные скопления (рис. 4, б).

Набор минеральных примесей в кварце из разных жил одинаковый с небольшими количественными вариациями: кальцит, хлорит, плагиоклаз (альбит), слюды, сульфиды, барит. Микроминеральные включения расположены как внутри зерен кварца, так и по трещинам или в межзерновом пространстве. Для кварца характерно большое количество ГЖВ размером от сотых долей миллиметра и меньше, что обуславливает его невысокое светопропускание (50–57 %). Многостадийный характер образования жильного кварца помимо его рекристаллизации привел к образованию флюидных включений нескольких генераций, распределенных неравномерно. Локализация ГЖВ происходит как внутри зерен кварца (рис. 4, в), так и вдоль межзерновых границ (рис. 4, г) или по мелким трещинам. В составе ГЖВ преобладают включения сухих газов, а также водные растворы с содержанием газовой фазы от 10 до 30 %. Устанавливаются также вакуоли с большим содержанием твердой кристаллической фазы.

Содержание SiO_2 в кварце варьирует в интервале 96,46–98,72 мас. % (в среднем 98,13 мас. %). Основные примеси связаны с Al_2O_3 (0,38–0,92 мас. %), MgO (0,06–0,74 мас. %) и $\text{FeO}_{\text{общ}}$ (0,10–0,41 мас. %), входящими в состав микроминеральных включений слюд, плагиоклазов и карбонатов.

Рентгенографическим исследованием кварца одной из крупных жил установлено, что значения ПЭЯ варьируют: a – от 4,9135 до 4,9140 Å, c – от 5,4031 до 5,4055 Å (табл. 3). При сопо-

ставлении этих данных с аналогичными данными для промышленных разновидностей кварца гидротермальных жил Приполярного Урала видно, что параметры a и c для жильного кварца Гирвасской площади в большинстве случаев имеют завышенные значения (рис. 3). Можно предположить, что это связано с вхождением в кварцевую решетку некоторых примесей (Al, Li, Fe), приводящим к незначительным ее изменениям, что отмечалось и в других исследованиях [Афанасьева и др., 1959]. Величина индекса кристалличности ($I_{\text{кр}}$), варьирующая в интервале 7,6–8,3, указывает на достаточно хорошую упорядоченность его кристаллической решетки.

Исходя из опыта работы с жильным кварцем, особенностей локализации минеральных включений в кварце, в данном случае была использована следующая лабораторная схема обогащения: стадия рудоподготовки (дезинтеграция жильной массы, измельчение в замкнутом цикле с выделением классов крупности $-1 + 0,315$ и $-0,315 + 0,1$ мм), магнитная сепарация и глубокое обогащение, включающее СВЧ-обработку с последующим выщелачиванием в HCl (10% р-р, 1 ч, 100°C) и $\text{HF}_{\text{конц}}$ (1 ч, 100 °C). Для качественной оценки полученных концентратов была определена концентрация в них элементов-примесей, имеющих для промышленного использования кварца ключевое значение. Характеристика наиболее чистого концентрата, полученного в результате глубокого обогащения крупки фракции $-0,315 + 0,1$ мм, приведена в табл. 2. Основными элементами-примесями являются Al (12 ppm), Na (9,5 ppm), Ti (4 ppm), K (2,5 ppm), Ca (1,9 ppm). Концентрации этих элементов обусловлены главным образом высвободившимися микровключениями слюд, полевых шпатов, что подтверждается электронно-микроскопическим анализом обогащенной кварцевой крупки [Skamnitskaya, Bubnova, 2019]. Кроме того, часть остающихся в кварце примесей может быть связана с составом солевых растворов ГЖВ и структурными примесями.

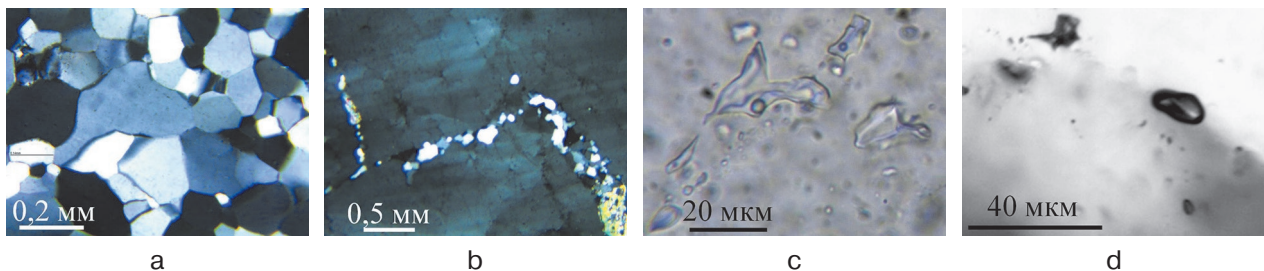


Рис. 4. Фото шлифов: первичный крупнозернистый кварц (а), прожилки вторичного кварца (б), ГЖВ в крупных зернах первичного кварца (с) и во вторичном кварце (д)

Pic. 4. Photo of thin sections: primary coarse-grained quartz (a), secondary quartz vein (b), fluid inclusions in coarse grains of primary quartz (c) and secondary quartz (d)

Полученный кварцевый концентрат фракции $-0,315 + 0,1$ мм с суммарным содержанием примесей 34,6 ppm соответствует требованиям сорта глубокого обогащения КГО отдельных марок (ТУ 5726-002-11496665-97) для изготовления особо чистого прозрачного кварцевого стекла, применяемого в производстве полупроводниковых материалов, электронике, светотехнике, средств волоконно-оптической связи.

Заключение

Результаты исследований высококремнистых пород Центральной Карелии показывают потенциальную возможность их использования для получения кварцевых продуктов различного назначения. Технологическими исследованиями силицитов Эльмусской структуры показана возможность получения на их основе кварц-полевошпатового концентрата, отвечающего требованиям ГОСТ 7030-75 на сырье для производства тонкой керамики ($Fe_2O_3 \leq 0,2\%$, $K_2O+Na_2O \geq 8\%$, $K_2O/Na_2O = 2$). Галечный кварц из конгломератов по своим структурным и геохимическим характеристикам подобен гидротермальному жильному кварцу, однако кварцевых концентратов высокого качества на его основе получить пока не удалось. Тем не менее низкое содержание Li, B и P, лимитируемых при использовании кварцевого сырья для производства ферросилиция высоких марок, является положительной химической характеристикой полученных концентратов. Полученный на основе слабопрозрачного жильного кварца концентрат фракции $-0,315 + 0,1$ мм с суммарным содержанием примесей 34,6 ppm соответствует требованиям сорта глубокого обогащения КГО отдельных марок (ТУ 5726-002-11496665-97) для изготовления особо чистого прозрачного кварцевого стекла, применяемого в производстве полупроводниковых материалов, электронике, светотехнике, средств волоконно-оптической связи.

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

Литература

Афанасьева Н. А., Каменцев И. Е., Франк-Каме-нецкий В. А. Колебание параметров элементарной ячейки кварца различного генезиса // Кристаллография. 1959. Т. 4, вып. 3. С. 383–385.

Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии / Ред. С. И. Рыбаков, А. И. Светова, В. С. Куликов. Л.: Наука, 1981. 152 с.

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

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

Родионов В. С., Щипцов В. В. Отчет о прогнозно-минерагеническом изучении Республики Карелия в масштабе 1:1 000 000 с целью выявления объектов, перспективных на минеральное сырье для производства специальных кварцевых изделий (1995–2000 гг.)». Кн. 1–4. Петрозаводск, 2000. (КарТФГИ).

Светов С. А. Магматические системы зоны перехода океан-континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 230 с.

Светова А. И. Архейский вулканизм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Карелии. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР, 1988. 148 с.

Светова Е. Н., Инина И. С. Рентгеноструктурные особенности промышленных разновидностей кварца гидротермально-метаморфогенных жил Приполярного Урала // Методы оценки технологических свойств минералов и их поведение в технологических процессах: Сб. статей по матер. докл. V Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 102–105.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Светов С. А. Технологическая минералогия высококремнистых осадочных пород Карелии – нетрадиционного кварц-полевошпатового сырья // Обогащение руд. 2016. № 4. С. 35–42. doi: 10.17580/or.2016.04.06

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Светов С. А. Перспективы использования архейских силицитов Центральной Карелии (Эльмусская и Койкарская структуры) для производства строительных материалов // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 62–66.

Скамницкая Л. С., Светова Е. Н., Светов С. А. Минералого-технологические особенности кварцевых конгломератов Карелии как нетрадиционного источника кварцевого сырья // Обогащение руд. 2014. № 2. С. 36–42.

Тохтасьев В. С. Минеральное сырье. Сырье полевошпатовое. Справочник. М.: Геоинформмарк, 1998. 46 с.

Щипцов В. В., Астала Ю., Родионов В. С. Характеристика элементов-примесей в основных природных политипных кварцах территории Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 129–137.

Melezhik V. A., Medvedev P. V., Svetov S. A. The Onega basin // Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1: The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences / V. Melezhik, A. R. Prave, A. E. Fallick, L. R. Kump, H. Strauss, A. Lepland, E. J. Hanski (eds.). Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. P. 387–490. doi: 10.1007/978-3-642-29682-6_9

Murata J., Norman M. B. An index of crystallinity for quartz // *Am. J. Sci.* 1976. Vol. 276. P. 1120–1130.

Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Mineralogi-technological evaluation of Girvas occurrence vein quartz (Karelia, Russia) // 19th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConf. SGEM 2019. Proceed. STEP92 Technology Ltd, 51 “Alexander Malinov” Blvd, 1712. Sofia Bulgaria, 2019. Vol. 1.3. P. 877–882. doi: 10.5593/sgem2019/1.3/S04.113

References

Afanas'eva N. A., Kamentsev I. E., Frank-Kamenetskii V. A. Kolebanie parametrov elementarnoi yacheiki kvartsa razlichnogo genezisa [Fluctuation of cell parameters of quartz of various geneses]. *Kristallografiya* [Crystallography]. 1959. Vol. 4, iss. 3. P. 383–385.

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

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

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

Shchiptsov V. V., Astala Yu., Radionov V. S. Kharakteristika elementov-primesei v osnovnykh prirodnykh politipnykh kvartсах territorii Karelii [Trace elements characteristic of base quartz polytypes of Karelia]. *Geol. i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. and Minerals of Karelia]. Iss. 1. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. P. 129–137.

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

Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P., Svetov S. A. Perspektivy ispol'zovaniya arkheiskikh silitsitov Tsentral'noi Karelii (El'musskaya i Koikarskaya struktury) dlya proizvodstva stroitel'nykh materialov [Prospects of the use of the Archean silicites of Central Karelia (Elmuskaya and Koykarskaya structures) for producing building materials]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials]. 2017. No. 9. P. 62–66.

Skamnitskaya L. S., Svetova E. N., Svetov S. A. Mineralogicheskoe osobennosti kvartsevnykh konglomeratov Karelii kak netraditsionnogo istochnika kvartsevogo syr'ya [Mineralogical-technological specialties of Karelian quartz conglomerates as a nonconventional source of quartz material]. *Obogashchenie rud* [Mineral Processing J.]. 2014. No. 2. P. 36–42.

Svetova E. N., Svetov S. A., Stepanova A. V. Trace elements in quartz as geochemical indicators of the sources of terrigenous material in conglomerates // Proceed. Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting. 2019. P. 248–252. doi: 10.26352/D924F5042

Поступила в редакцию 18.05.2020

Svetov S. A. Magmatichekieskie sistemy zony perekhoda okean-kontinent v arkhee vostochnoi chasti Fennoskandinavskogo shchita [Magmatic systems of the ocean-continent transition zone in the Archaean of the eastern part of the Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. 230 p.

Svetova A. I. Arkheiskii vulkanizm Vedlozersko-Segozerskogo zelenokamennogo poyasa Karelii [The Archaean volcanism of the Vedlozero-Segozero Greenstone Belt of Karelia]. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1988. 148 p.

Svetova E. N., Inina I. S. Rentgenostrukturnye osobennosti promyshlennykh raznovidnostei kvartsa gidrotermal'no-metamorfogennykh zhil Pripolyarnogo Urala [X-ray structural features of industrial varieties of quartz hydrothermal-metamorphogenic veins of the Subpolar Urals]. *Metody otsenki tekhnol. svoistv mineralov i ikh povedenie v tekhnol. protsessakh* [Methods for assessing the technol. properties of minerals and their behavior in technol. processes]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. P. 102–105.

Tokhtas'ev V. S. Mineral'noe syr'e. Syr'e polevoshpatovoe. Spravochnik [Raw material. Feldspar raw material. A reference book]. Moscow: Geoinformmark, 1998. 46 p.

Vulkanizm arkheiskikh zelenokamennykh poyasov Karelii [Volcanism of the Archaean greenstone belts of Karelia]. Eds. S. I. Rybakov, A. I. Svetova, V. S. Kulikov. Leningrad: Nauka, 1981. 152 p.

Melezhik V. A., Medvedev P. V., Svetov S. A. The Onega basin. *Reading the Archive of Earth's Oxygenation. The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project. Series: Frontiers in Earth Sciences.* V. Melezhik, A. R. Prave, A. E. Fallick, L. R. Kump, H. Strauss, A. Lepland, E. J. Hanski (eds.). Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. P. 387–490. doi: 10.1007/978-3-642-29682-6_9

Murata J., Norman M. B. An index of crystallinity for quartz. *Am. J. Sci.* 1976. Vol. 276. P. 1120–1130.

Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Mineralogi-technological evaluation of Girvas occurrence vein quartz (Karelia, Russia). 19th Int. Multidisciplinary Sci. GeoConf. SGEM 2019. Proceed. STEP92 Technology Ltd, 51 “Alexander Malinov” Blvd, 1712 Sofia Bulgaria 2019. Vol. 1.3. P. 877–882. doi: 10.5593/sgem2019/1.3/S04.113

Svetova E. N., Svetov S. A., Stepanova A. V. Trace elements in quartz as geochemical indicators of the sources of terrigenous material in conglomerates. *Proceed. Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting.* 2019. P. 248–252. doi: 10.26352/D924F5042

Received May 18, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Светова Евгения Николаевна

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

Бубнова Татьяна Петровна

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

Букчина Ольга Васильевна

ведущий геолог
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: obukchina@mail.ru
тел.: (814) 768092

CONTRIBUTORS:

Svetova, Evgeniya

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

Bubnova, Tatyana

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

Bukchina, Olga

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

ХРОНИКА

КОМИССИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ РОССИЙСКОГО МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Истоки развития технологической минералогии связаны с академиком В. М. Севергиным. В начале XIX века он соединил задачи минералогии с изучением строения и состава минералов, выяснением их взаимоотношений в месторождениях, установлением возможности их практического использования и ввел понятие «технологическая и экономическая

минералогия», что и определило практическую направленность российской минералогии.

Создание Комиссии по технологической минералогии при Всесоюзном минералогическом обществе под председательством директора Института «Механобр» В. И. Ревнивцева утверждено 15 декабря 1983 г. в Горном институте на заседании Ученого совета. В 2005 г.



Академик Н. П. Юшкин дает интервью о V семинаре по технологической минералогии в г. Сыктывкаре (2010 г.)



Президент Минералогического общества академик Д. В. Рундквист (в центре) на VII семинаре по технологической минералогии (ВИМС, Москва, 2012 г.)

по рекомендации президента Российского минералогического общества (РМО) академика Д. В. Рундквиста и решению Ученого совета РМО Комиссия по технологической минералогии, возглавленная В. В. Щипцовым, разместилась в Институте геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск.

Начиная с 2006 г. указанная комиссия РМО ежегодно организует и проводит российские семинары по технологической минералогии.

I Российский семинар состоялся 28–29 марта 2006 г. в Петрозаводске на базе Института геологии КарНЦ РАН и был посвящен рассмотрению актуальных вопросов, вызванных особенностями организации геологоразведочных работ в России на современном этапе. Важнейшая задача состояла в повышении роли технологической минералогии в априорной оценке технологических свойств по многим видам руд металлов и промышленных минералов отечественной минерально-сырьевой базы.

II Российский семинар проходил также в Петрозаводске и на стационаре института в пос. Толвуя 14–16 июня 2007 г. Семинар был посвящен рассмотрению актуальных проблем, связанных со значением исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья по различным направлениям. Участники семинара в ходе полевой экскурсии посетили действующие карьеры по добыче шунгитсодержащих

пород (Забогинский и Максовский), а также старую шунгитовую штольню в дер. Шуньга.

III Российский семинар, вновь организованный в Петрозаводске, назывался «Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов». Ключевыми докладами на этом семинаре стали выступления ведущих специалистов в области технологической минералогии. Во время полевой экскурсии участники посетили карьер по добыче шокшинского кварцита в пос. Кварцитный.

IV Российский семинар «Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы» проходил 14–16 сентября 2009 г. на теплоходе «Борис Полевой», следовавшем по маршруту Казань – Нижний Новгород – Чебоксары – Казань. На семинаре сделано более 40 докладов от 17 научных организаций, вузов и предприятий, представляющих различные регионы России.

V Российский семинар «Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов» состоялся 4–7 октября 2010 г. в г. Сыктывкаре на базе Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

VI Российский семинар «Методы оценки технологических свойств минералов и их поведение в технологических процессах», посвященный 50-летию Института геологии КарНЦ РАН,



Магнитогорский металлургический комбинат. Участники IX семинара по технологической минералогии (Магнитогорск, 2014 г.)

проводился 26–28 апреля 2011 г. в Петрозаводске на базе Института геологии КарНЦ РАН и Петрозаводского государственного университета.

VII Российский семинар «Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии» был организован на базе ФГУП «ВИМС» в Москве 9–11 апреля 2012 г. Для участия в семинаре было принято более 30 докладов от 15 научных организаций, вузов, предприятий, министерств и ведомств.

VIII Российский семинар «Технологическая минералогия в оптимизации процессов рудоподготовки и обогащения минерального сырья» состоялся 23–24 апреля 2013 г. в Санкт-Петербурге на базе НПК «Механобр-Техника». В работе семинара участвовали представители ряда научных и коммерческих организаций страны из разных регионов России.

IX Российский семинар «Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений» состоялся 22–24 апреля 2014 г. в Магнитогорске на базе Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. Научная программа семинара посвящалась проблемам освоения рудных месторождений, развития горно-металлургического производства. Для участников семинара была организована экскурсия с посещением Магнитогорского металлургического комбината.

X Российский семинар по технологической минералогии «Роль технологической минералогии в получении конечных продуктов передела минерального сырья» проходил 22–24 апреля 2015 г. в Белгороде на базе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Участники семинара посетили Лебединский ГОК.

XI Российский семинар по технологической минералогии «Результаты междисциплинарных исследований в технологической минералогии» проходил в рамках юбилейных мероприятий, посвященных 100-летию со дня создания института «Механобр», в 2016 году в Санкт-Петербурге. Обращаясь на открытии научных мероприятий к аудитории, ректор Горного университета В. С. Литвиненко подчеркнул, что потенциал отечественной минерально-сырьевой отрасли очень велик, но для того, чтобы целенаправленно работать на экономику России, он должен быть в полной мере раскрыт.

В 2017 г. исполнилось 200 лет Российскому минералогическому обществу, организованному 7 (19) января 1817 года в Санкт-Петербурге. Этому событию посвящался съезд РМО, где было отмечено, что методы минералогической науки и в настоящее время остаются в фокусе геологических исследований и решения проблем, стоящих перед фундаментальными и прикладными науками о Земле. В юбилейное издание РМО вошла статья об истории Комис-



Сотрудники ИГ КарНЦ РАН – участники X семинара по технологической минералогии во время посещения карьера на Лебединском горно-обогатительном комбинате (Губкин – Белгород, 2015 г.)

сии по технологической минералогии РМО (Пирогов Б. И., Щипцов В. В. История Комиссии по технологической минералогии РМО (ВМО) с прологом // 200 лет Российскому минералогическому обществу. Исторический сборник. СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. С. 390–410.).

В 2018 году при активном участии членов Комиссии по технологической минералогии прошло крупное российское совещание с международным участием «Роль технологической минералогии в рациональном недропользовании», состоявшееся в ФГБУ «ВИМС им. Н. М. Федоровского» (г. Москва, 15–16 мая 2018 г.). Организаторы совещания: Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»), Российское минералогическое общество (РМО), Комиссия по технологической минералогии РМО. В совещании приняли участие более 150 человек из более 40 организаций, в их числе сотрудники подведомственных организаций Роснедр, институтов и научных центров РАН, вузов, коммерческих и научно-производственных компаний,

XII Российский семинар по технологической минералогии «Минералого-технологическая оценка новых видов минерального сырья» со-

стоялся в ИГ КарНЦ РАН 15–17 мая 2019 г., с организацией экскурсии в горный парк «Рускеала».

В 2019 году впервые на территории Российской Федерации проведен Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM-2019). Конгресс состоялся в г. Белгороде на базе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Главная тема – «Прикладная минералогия: будущее рождается сегодня». Цель мероприятия заключалась в определении вектора приоритетных научных направлений, укреплении престижа науки, создании новых профессиональных контактов. В финальный день конгресса В. В. Щипцов, председатель Комиссии по технологической минералогии РМО, провел рабочий семинар «Прикладная минералогия при изучении промышленных полезных ископаемых (опыт Комиссии по технологической минералогии Российского минералогического общества)». Для участников конгресса проводились экскурсии с посещением Лебединского ГОКа, краеведческого музея г. Губкина и музея-заповедника «Прохоровское поле».

XIII Российский семинар по технологической минералогии «Минералого-технологическая оценка твердых полезных ископаемых, проблемы рудоподготовки и обогащения минерально-

го сырья» планируется провести 8–10 декабря 2020 г. в г. Сыктывкаре на базе ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Результаты научных исследований, представленные в материалах докладов семинаров по технологической минералогии за период 2006–2019 гг., опубликованы в двенадцати вы-

пусках сборников статей. Первый выпуск посвящался памяти проф. В. М. Изойтко.

*В. В. Щипцов, председатель Комиссии
по технологической минералогии РМО;
Е. Н. Светова, секретарь Комиссии*

РЕЦЕНЗИИ И БИБЛИОГРАФИЯ

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ КАРНЦ РАН, ПОСВЯЩЕННЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ МИНЕРАЛАМ КАРЕЛИИ

1959. Соколов В. А. Структурно-фациальные типы разрезов карбонатных пород Прионежья // Труды Карельского филиала АН СССР. Вып. 11. Материалы по геологии Карелии. С. 180–197.

1960. Минеральные ресурсы Карельской АССР и пути их промышленного освоения / Науч. ред. П. А. Борисов. Петрозаводск: Госиздат КАССР. 51 с.

1963. Борисов П. А. Каменные строительные материалы Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 367 с.

Соколов В. А. Геология и литология карбонатных пород среднего протерозоя Карелии. М.; Л.: АН СССР. 185 с.

1966. Вопросы геологии и закономерности размещения полезных ископаемых Карелии / Редкол. А. И. Богачев, К. О. Кратц, В. И. Робонен, В. А. Соколов. Петрозаводск: Карел. кн. изд-во. 92 с.

1968. Геология слюдяных месторождений Карелии и Кольского полуострова, методика их разведки и промышленное использование / Науч. ред. Б. Я. Алексеев. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 211 с.

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

Скамницкая Л. С. Исследование обогатимости пегматитов месторождений Лесное и Кюрьяла // Природные ресурсы Карелии и пути их рационального использования. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. С. 20–21.

1974. Алексеев Б. Я., Голованова Л. С., Крохин А. И. Геологические основы разведки слюдяных месторождений Карелии. Л.: Наука. 94 с.

1975. Володичев О. И., Щипцов В. В. О метаморфическом факторе формирования мусковитовых пегматитов (район центральной части Западного Беломорья) // Мусковитовые пегматиты: Л.: Наука. С. 165–168.

Гродницкий Л. Л., Полин А. К. Пегматиты Северной Карелии и их ореолы. Петрозаводск: Карелия. 227 с.

Шунгиты Карелии и пути комплексного использования / Под ред. В. А. Соколова, Ю. К. Калинина. Петрозаводск: Карелия. 240 с.

1976. Богачев А. И., Слюсарев В. Д., Кравченко А. Н., Игошин А. И., Алексеев И. И. Новый тип щелочного протерозойского магматизма в Карелии // ДАН СССР. Т. 230, № 5. С. 1169–1172.

Пекки А. С., Скамницкая Л. С., Кулмала Т. К. О возможности добычи микроклиновых пегматитов на месторождении Брусничное: Оперативно-информационные материалы. Петрозаводск. С. 42–47.

1977. Минеральное сырье Карелии / Науч. ред. В. А. Соколов. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 201 с.

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

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

Щипцов В. В. Критерии оценки слюдоносности пегматитов Западного Беломорья // Пегматиты Северной Карелии и Кольского полуострова. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР.

1978. Голованова Л. С. Метаанортозиты Чупинского района // Геология, минералогия

и геохимия пегматитовых полей Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. С. 78–87.

Робонен В. И., Рыбаков С. И., Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Светова А. И., Сергеева Н. Е. Серноколчеданные месторождения Карелии (геология, метаморфизм, генезис). Л.: Наука. 192 с.

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

1980. Бархатов А. В., Скамницкая Л. С. Технологическая оценка обогатимости апатитовых руд Райвмякского, Койвмякского щелочного массива (Западное Приладожье) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. С. 46–48.

Скамницкая Л. С., Пекки А. С. Исследование обогатимости новых типов полевошпатового сырья // Обогащение руд. Иркутск. С. 82–92.

Хазов Р. А., Иващенко В. И. Новые проявления щелочного магматизма и апатитового оруденения на Балтийском щите // ДАН СССР. Т. 252, № 4. С. 944–947.

1981. Шунгитовые породы Карелии / Ред. А. Н. Шлямин, Е. Ф. Дюккиев. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 182 с.

1982. Геология шунгитоносных вулканогенно-осадочных образований протерозоя Карелии. Петрозаводск: Карелия. 175 с.

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

Наливкин А. Б., Карелина И. Н. Минералогические критерии оценки слюдоносных пегматитов. Л.: Наука. 136 с.

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

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

Гродницкий Л. Л., Щипцов В. В., Сафронова Г. П. Пегматитовые формации и пояса Балтийского щита // Геология и генезис пегматитов. Л.: Наука. С. 213–223.

1985. Гродницкий Л. Л., Ручьев А. М., Крохин А. И. Лоушское пегматитовое поле. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 177 с.

Щипцов В. В., Кузнецов С. В. Об ИК-спектрах отражения мусковитов из гранитных пегматитов // Минералогический журнал. № 2. С. 91–95.

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

Пекки А. С., Кулмала Т. К., Скамницкая Л. С., Бархатов А. В. Резервная база кварц-полевошпатового сырья в Северном Приладожье // Комплексное и рациональное использование микроклинового сырья Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. С. 13–24.

1987. Бискэ Н. С. Графитовое оруденение Северного Приладожья. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 172 с.

Рыбаков С. И. Колчеданное рудообразование в раннем докембрии Балтийского щита. Л.: Наука. 266 с.

1988. Скамницкая Л. С. Об обогатимости пегматитов участка Уракко как возможной сырьевой базы Чупинской ГОР // Освоение месторождений комплексных руд карельского региона. Апатиты. С. 63–68.

Щипцов В. В., Гаранжа А. В., Сыстра Ю. Й., Щипцова Н. И., Кулмала Т. К., Бородулин Ю. Д., Скамницкая Л. С., Захарова И. Б., Морозов Г. Г., Каненкова Е. А., Байбусинов Ш. Ш. Хизоваарское кианитовое поле (Северная Карелия). Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР. 104 с.

1989. Калинин Ю. К., Дюккиев Е. Ф., Сафронова Л. А. Химическое обогащение шунгитовых пород // Комплексное освоение минеральных ресурсов Севера и Северо-Запада СССР (Европейская часть): Материалы всесоюзного совещания. Петрозаводск. С. 210–213.

Соколов В. И., Рылеев А. В. Талько-хлоритовые сланцы для футеровки вращающихся печей // Огнеупоры. № 11. С. 35–36.

1990. Biske N., Skamnitskaya L., Mikhailov V., Sarapaa O. Geology and commercial assesment of graphite deposits in the Eastern Fennoscandian Shield // Comprehensive assesment of nonmetalliferous deposits. Finish-Soviet Saintific-Technological Cooperation: Proceedings of the Finnish-Soviet symposium. Helsinki. P. 38–49.

Демонис И. М., Карпович Ю. Ф., Озерова Г. П., Скамницкая С. С., Щипцов В. В. Кианитовые руды месторождения Хизоваара – перспективный вид огнеупорного сырья // Фундаментальные науки – народному хозяйству. М.: Наука. 725 с.

Сафронова Г. П. Породообразующие карбонаты и апатит Тикшеозерского массива // Новое в минералогии Карело-Кольского региона. Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР. С. 25–39.

Щипцов В. В., Бархатов А. В., Букчина О. В., Цюнь О. В. Минералогия, геохимия и технология обогатимости апатитов Тикшеозерской группы массивов // Минералогия магматических и метаморфических пород Карело-Кольского региона. Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР. С. 132–140.

1991. Кулмала Т. К., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В., Марьина С. П., Патковская Н. А. Петрохимия, геохимия и обогащение щелочных сиенитов Елетьозерского массива // Минеральное сырье Лоухского района Карельской АССР: Сб. ст. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 35–54.

Озерова Г. П., Скамницкая Л. С., Щипцов В. В. Кианитсодержащие породы и их геолого-технологическая оценка // Там же. С. 54–71.

Щипцов В. В., Ильин В. А., Кокконен А. М., Экман И. М. Полезные ископаемые Лоухского района КАССР // Там же. С. 5–20.

Щипцов В. В., Цьонь О. В., Желдаков Ю. А. Распределение U-Th-Pb и редкометаллических элементов в апатитах Карелии // Минералогический журнал. Т. 13, № 4. С. 92–98.

Kalinin U. K., Mikhailov V. Geology and ways of using shungite rocks // Proceedings of the Finnish-Soviet Symposium. Otaniemi. P. 63–70.

Shchiptsov V. V. Precambrian nonmetallics of Karelia: Classification and geotechnological assessment // Precambrian geology the Southern Canadian shield and the Eastern Baltic shield / Ed. R. W. Ojarangas. Minnesota: Minnesota Geological Survey. Inf. circ. 34. P. 164–167.

1993. Рыбаков С. И., Гродницкий Л. Л., Хазов Р. А., Слюсарев В. Д., Лавров М. М., Горьковец В. Я., Щипцов В. В., Голубев А. И. Металлогенические эпохи и эволюция рудообразующих процессов в докембрии Карелии // Геология рудных месторождений. Т. 35, № 5. С. 371–379.

Рыбаков С. И., Щипцов В. В. О направлениях геологического изучения и освоения минерально-сырьевых ресурсов Карелии // Проблемы геологии докембрия Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 3–11.

Хазов Р. А., Попов М. Г., Бискэ Н. С. Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. СПб.: Наука. 218 с.

Precambrian industrial minerals of Karelia / Ed. V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk: Poliprint. 88 p.

1994. Shchiptsov V. V. Present and future industrial minerals in Karelia (Russia) // Ed. J. B. Griffiths. Papers presented at the 11th «Industrial Minerals» International Congress. Surrey, UK: Published by Industrial Minerals Division of Metal Bulletin plc. P. 15–21.

1995. Иващенко В. И., Лавров О. Б. Минералогические особенности каолинитовых образований хут. Пролонваара (оз. Малое Янисъярви) // Геология и магматизм Карелии: Опер.-информ. материалы за 1994 г. Петрозаводск. С. 31–33.

Соколов В. И. Талько-хлоритовые сланцы Карелии и пути их комплексного использова-

ния. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 130 с.

Соколов В. И., Славин В. В., Зуев Н. М. Талько-хлоритовые сланцы и шунгиты – новые футеровочные материалы // Цветные металлы. № 2. С. 31–34.

Щипцов В. В. Индустриальные минералы Карелии – поле деятельности малых горных предприятий // Минеральные ресурсы России. № 2. С. 13–15.

1997. Щипцов В. В. Современная минерально-сырьевая база индустриальных минералов Республики Карелия // Геолого-технологическая оценка индустриальных минералов и пород Республики Карелия и отдельных регионов Европейского континента. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 7–20.

Щипцов В. В., Астала Ю., Скамницкая Л. С., Родионов В. С., Рантанен Т. Предварительная сравнительная оценка различных типов кварцевых проявлений Северной Карелии // Там же. С. 37–46.

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

1999. Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Астала Ю. Обогащаемость кварца основных месторождений Карелии // Проблемы комплексной переработки минерального сырья и охраны окружающей среды. М.: ННЦ-ИГД им. А. А. Скочинского. С. 230–239.

Industrial minerals: deposits & new developments in Fennoscandia: Proceedings of the International Conference / Eds V. V. Shchiptsov, L. S. Scamnitckaya, L. A. Danlevskaya. Petrozavodsk: KarRC RAS. 162 p.

2002. Бархатов А. В., Щеков В. А. Основы стоимостной оценки минерально-сырьевых ресурсов Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 334 с.

Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 280 с.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Савицкий А. И. Маложелезистые мусковиты Северной Карелии – новый тип чистых промышленных минералов // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем (теория, практика, перспективы развития): Материалы к годовичному собранию ВМО. М. С. 192–194.

2003. Данилевская Л. А., Гаранжа А. В. Месторождение жильного кварца Фенькина-Лампи: геолого-минералогические аспекты формирования, типоморфные свойства и оценка качества // Геолого-технологические исследования индустриальных минералов Фенноскан-

дии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. С. 29–38.

Каменева Е. Е., Скамницкая Л. С. Обогащение минерального сырья Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 230 с.

Shchiptsov V. V., Perepelitsyn V. A., Grishenkov E. E., Enenko V. P., Zavertkin A. S. Perovoural'skii and karel'skii quartzites for the lining of crucible-type induction furnaces // *Refractories and Industrial Ceramics*. Vol. 44, no. 1. P. 67–74.

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

Щипцов В. В. Прогнозная оценка промышленных минералов Республики Карелия (юго-восточная часть Фенноскандинавского щита) // *Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований*. М.: ИГЕМ РАН. С. 45–57.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Данилевская Л. А., Савицкий А. И., Букчина О. В. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (Северная Карелия) // *Геология и полезные ископаемые*. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. Вып. 7. С. 151–162.

2005. Заверткин А. С., Щипцов В. В., Ененко В. П. Возможности применения в производстве огнеупоров кианитов Хизоваарского месторождения // *Новые огнеупоры*. № 4. С. 87–92.

Щипцов В. В. Кианит – эффективный огнеупор (сферы потребления, производители и мировая торговля) // *Новые огнеупоры*. № 8. С. 78–86.

Щипцов В. В. Обзор и оценка промышленных минералов Республики Карелия // *Геология рудных месторождений*. Т. 47, № 1. С. 3–15.

Bubnova T., Shchiptsov V. Characteristics of the garnet-containing ores as an abrasive source (Republic of Karelia, Russia) // *International conference on Precambrian Continental Growth and Tectonism (PCGT-2005)*. India. P. 326–328.

Danilevskaya L. Minerageny of quartz raw material within the Karelian craton (Fennoscandian shield, Russian part) // Там же. P. 301–305.

Shchiptsov V. V. Review and assessment of industrial minerals of the Karelian Republic // *Geology of ore deposits*. Vol. 47, no. 1. P. 1–12.

2006. Демидов И. Н., Шелехова Т. С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 89 с.

Ильина В. П., Инина И. С. Исследование возможности применения нетрадиционных полевошпатовых пород Карелии для электротехни-

ческой керамики // *Огнеупоры и техническая керамика*. № 10. С. 40–45.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия / Под ред. В. П. Михайлова, В. И. Аминова. Петрозаводск: Карелия. Т. 2. 356 с.

Шеков В. А. (авт.-сост.). Палитра карельского камня. Петрозаводск: Пакони. 96 с.

2007. Данилевская Л. В., Щипцов В. В. Прогноз перспективности нового кварценосного объекта Меломайс в Карелии // *Разведка и охрана недр*. № 10. С. 33–36.

Данилевская Л. В., Щипцов В. В. Состояние и ресурсы минерально-сырьевой базы кварца Республики Карелия // Там же. С. 29–33.

Хазов Р. А. Кайвомякское и Райвомякское месторождения комплексного потенциального стронций-барийсодержащего щелочнополевошпатового, редкоземельно-титанового и апатитового сырья // *Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья*. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 156–162.

Shchiptsov V., Shekov V. Karelian stone palette // *30th International Gemmological Conference. The collection of expanded abstracts and some articles*. Moscow. P. 92–93.

2008. Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Результаты технологических исследований диатомитов Карелии // *Обогащение руд*. № 1. С. 3–8.

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

Danilevskaya L. Microimpurities in genetically different quartz varieties and their influence on the degree of purification of raw quartz upon dressing // *The 33rd International Geological Congress: MPM-02 Frontiers in quartz research: The genesis, crystal chemistry and economic importance of igneous, metamorphic and hydrothermal SiO₂-polymorphs*. Oslo.

2009. Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Скамницкая Л. С., Гаранжа А. В., Ручьев А. М. Гранатовые руды Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 208 с.

2010. Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С. Месторождение жильного кварца Перчатка: история освоения, геолого-минералогические особенности, новые подходы к оценке сырья // *Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова: Тр. VII Всерос. Ферсмановской науч. сессии, посвящ. 80-летию КНЦ РАН. Апатиты: К&М*. С. 39–44.

Данилевская Л. А., Скамницкая Л. С. Мусковитовые кварциты месторождения Восточная Хизо-

ваара // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 108–120.

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

2011. Калинин Ю. К., Ковалевский В. В. Шунгитовые породы – 50 лет научно-технологических исследований в Институте геологии // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 172–179.

Коротеев В. А., Огородников В. Н., Войтеховский Ю. Л., Поленов Ю. А., Савичев А. Н., Щипцов В. В., Сазонов В. Н., Коротеев Д. В. Небокситовое алюминиевое сырье России. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 228 с.

Corfu F., Bayanova T. B., Shchiptsov V. V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshezero carbonatite: expression of 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia // Central European Journal of Geosciences. Vol. 3, iss. 3. P. 302–308.

2012. Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В. Кианитовые руды России. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 334 с.

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

Щипцов В. В., Шеков В. А. О концепции развития минерально-сырьевой базы Республики Карелия // Горный журнал. № 5. С. 9–16.

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

Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В., Поленов Ю. А., Савичев А. Н., Нерадовский Ю. Н., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Гришин Н. Н., Белогурова О. А., Гершенкоп А. Ш., Коротеев Д. В. Морфогенетические типы и технология обогащения кианитовых руд. Екатеринбург: УрО РАН. 310 с.

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

Gautneb H., Ahtola T., Bergman T., Gonzalez J., Hallberg A., Litvinenko V., Shchiptsov V., Voytekhovskiy Yu. Industrial minerals deposits map of the Fennoscandian shield // Mineral deposit research for a high-tech world. 12th Biennial SGA Meeting. Vol. 1–4. P. 1767–1769.

Shchiptsov V. V. Industrial minerals of the Tikshezero-Eletozero alkaline ultramafic-carbonatitic and alkaline gabbroic complexes in Karelia, Russia // Mineral deposit research for a high-tech world. 12th Biennial SGA Meeting. Vol. 1–4. P. 1781–1783.

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

Скамницкая Л. С., Светова Е. Н., Светов С. А. Минералого-технологические особенности кварцевых конгломератов Карелии как нетрадиционного источника кварцевого сырья // Обогащение руд. № 2. С. 36–42.

Mining Road / Ed. V. A. Shekov. Petrozavodsk: KarRC RAS. 320 p.

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Bubnova T. P. Geological and economic evaluation of quartz from the Republic of Karelia, Russia // SGEM2014: Conference Proceedings. Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd. Vol. 1. P. 153–160.

Shchiptsov V. V. Mineral raw materials base of high-alumina ores of the Republic Karelia (Russia) // Там же. P. 215–222.

2015. Коротеев В. А., Огородников В. Н., Щипцов В. В., Войтеховский Ю. Л. Морфогенетические типы кианита в докембрийских метаморфических комплексах // Петрография магматических и метаморфических пород: Мат. XII Всерос. Петрографического совещ. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 320–323.

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

Sharkov E. V., Belyatsky B. V., Bogina M. M., Chistyakov A. V., Shchiptsov V. V., Antonov A. V., Lepekhina E. N. Genesis and age of zircon from alkali and mafic rocks of the Elet'ozero Complex, North Karelia // Petrology. Vol. 23, iss. 3. P. 259–280.

Shchiptsov V. V., Scamnitskaya L. S., Rakov L. T., Dubinchuk V. T. Genetic value and the technological importance of structural not uniformity of sub-microscopic level in quartz // SGEM2015: Conference Proceedings. Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd. Vol. 1. P. 395–402.

2016. Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П. Перспективы промышленного использования кварцевых отходов обогащения кианитовых руд Хизоваарского рудного поля (Республика Карелия) // Огнеупоры и техническая керамика. № 6. С. 43–49.

Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Светов С. А. Технологическая минералогия высококремнистых осадочных пород Карелии – нетрадиционного кварц-полевошпатового сырья // Обогащение руд. С. 35–42.

Раков Л. Т., Дубинчук В. Т., Щипцов В. В., Скамницкая Л. С. Природа образования и генетическое значение субмикроскопических структурных неоднородностей в кварце // Труды КарНЦ РАН. № 10. С. 100–118.

Heino J., Ivanova L. V., Burtsev I. N., Drive-nes E. A., Isaeva E. D., Shchiptsov V. V. Mineral resources and mining // Encyclopedia of the Barents region / Ed. M.-O. Olsson. Oslo: Fax Forlag A/S. Vol. 1, A–M. P. 482–494.

Kovalevsky V., Shchiptsov V., Sadovnichy R. Unique natural carbon deposits of shungite rocks of Zazhogino ore field, Republic of Karelia, Russia // 16th International multidisciplinary scientific geoconference, SGEM 2016: science and technologies in geology, exploration and mining. Vol. 1. P. 673–680.

Malov N. D., Shchiptsov V. V. Crisis in mica production industry of the Belomorskaya pegmatite province and perspective of its overcoming // Journal of Mining Institute. Vol. 218. P. 172–178.

Shchiptsov V. V., Nikiforov A. G. Contribution of metasomatic processes to the formation of industrial minerals in Khizovaara ore field, Republic of Karelia, Russia // 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016. Book 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conference proceedings. Vol. I. P. 125–132.

Shekov K. V., Shekov V. A. Ruskeala mining park phenomenon // 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016. Book 5. Ecology, Economics, Education and Legislation. Conference proceedings. Vol. III. P. 515–520.

2017. Никифоров А. Г. Факторы контроля комплексных гранатовых руд месторождения «Высота-181» // Труды КарНЦ РАН. № 11. С. 43–58.

Skamnitckaya L., Rakov L., Bubnova T., Shchiptsov V. Relationship of Technological Properties with Dynamic Recrystallization of Quartz on the Example of Objects of the Karelian-Kola Region // IOP Conference Series-Earth and Environmental. 3rd World multidisciplinary earth sciences symposium (WMESS 2017). Vol. 95. UNSP 042076.

2018. Заверткин А. С., Щипцов В. В. Состояние и перспективы применения кианита в огне-

упорных и противопопригарных материалах // Новые огнеупоры. № 7. С. 7–12.

Климовская Е. Е., Иванов А. А. Минералогическо-петрографические особенности метакоматиитов Костомукшской зеленокаменной структуры (Карелия) // Литосфера. № 6. С. 870–891.

Никифоров А. Г., Бубнова Т. П. Геолого-технологическое картирование промышленных типов мусковитовых руд проявления Восточная Хизоваара (Республика Карелия) // Обогащение руд. № 5. С. 49–56.

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

Ivanov A. A., Shekov V. A., Myasnikova O. V. Method for assessment of the monolithic pattern of a massif by analysis of macro- and microfracturing of igneous rocks // SGEM2018: Conference proceedings. Bulgaria. Vol. 18, iss. 1.1. P. 229.

2019. Светова Е. Н., Светов С. А. Агаты в вулканитах Онежской палеопротерозойской структуры (Центральная Карелия) // Записки РМО. № 3. С. 59–76.

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

Скамницкая Л. С., Бискэ Н. С. Графитовые руды Ихальского месторождения: основные природные типы и их технологическая оценка // Горный журнал. № 3. С. 55–60.

Скамницкая Л. С., Светова Е. Н., Шанина С. Н. Влияние газовой-жидких включений на качество жильного кварца // Обогащение руд. № 2. С. 20–26.

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. Т. 486. С. 460–465.

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

Ivashchenko V. I., Shchiptsov V. V. On the history of mineralogenic studies and development of Arctic Karelia // Arctic: History and Modernity: 4th International Scientific Conference. Series: Earth and Environmental Science. St. Petersburg: IOP Publ. P. 302.

Kovalevsky V., Shchiptsov V. Shungites and their industrial potential // ICAM 2019. SPEES / Ed. S. Glagolev. P. 201–204.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(требования к работам, представляемым к публикации
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершённых оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, потери науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учётом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редколлегия серий и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляет за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил её оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылаются электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высылаются распечатанная версия статьи, которая вычитывается, подписывается авторами и возвращается в редакцию.

Журнал имеет полноценную электронную версию на базе Open Journal System (OJS), позволяющую перевести предоставление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронный формат и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Редакционный совет журнала «Труды Карельского научного центра РАН» (Труды КарНЦ РАН) определил для себя в качестве одного из приоритетов полную открытость издания. Это означает, что пользователям на условиях свободного доступа разрешается: читать, скачивать, копировать, распространять, печатать, искать или находить полные тексты статей журнала по ссылке без предварительного разрешения от издателя и автора. Учредители журнала берут на себя все расходы по редакционно-издательской подготовке статей и их опубликованию.

Содержание номеров Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные варианты статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185000, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы авторами.

Объём рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи. Рукописи большего объёма (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо на e-mail: trudy@krc.karelia.ru или представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТЕЙ СТАТЬИ

Элементы статьи должны располагаться в следующем порядке: *УДК* курсивом на первой странице, в левом верхнем углу; заглавие статьи на русском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; инициалы, фамилии всех авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; инициалы, фамилии всех авторов на английском языке полужирным шрифтом; название статьи на английском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; аннотация на английском языке; ключевые слова на английском языке; текст статьи (статья экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы** либо **Заключение**); благодарности и указание источников финансирования выполненных исследований; списки литературы: с библиографическими описаниями на языке и алфавите оригинала (**Литература**) и транслитерированный в латиницу с переводом русскоязычных источников на английский язык (**References**); двуязычные таблицы (на русском и английском языках); рисунки; подписи к рисункам на русском и английском языках.

Сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (с указанием почтового индекса) на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать содержание статьи* и состоять из 8–10 значимых слов.

АННОТАЦИЯ должна быть лишена вводных фраз, создавать возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ (не менее 5). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце фразы ставится точка. Слова, фигурирующие в заголовке статьи, ключевыми являться не могут.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. Следует ссылаться на табличный и иллюстративный материал так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т. д.), фотографии, помещаемые на вкладышах (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо начальным словом библиографического описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. На полях бумажного экземпляра рукописи (слева) карандашом указываются места расположения таблиц при первом упоминании их в тексте. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации (при соблюдении вышеуказанных параметров страницы).

РИСУНКИ при первичной подаче материала в редакцию вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в формате TIFF (*.TIF) или JPG. Графические материалы должны быть снабжены распечатками с указанием желательного размера рисунка, пожеланий и требований к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, элек-

* Названия видов приводятся на латинском языке КУРСИВОМ, в скобках указываются высшие таксоны (семейства), к которым относятся объекты исследования.

тронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения необязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Крупномасштабные карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с мелкомасштабной картой, где был бы указан участок, увеличенный в крупном масштабе в виде основной карты.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточно полную информацию, для того чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ. В расширенных латинских названиях таксонов не ставится запятая между фамилией авторов и годом, чтобы была понятна разница между полным названием таксона и ссылкой на публикацию в списке литературы. Названия таксонов рода и вида печатаются курсивом. Вписывать латинские названия в текст от руки недопустимо. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L., 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоного моллюска *Margarites groenlandicis* (Gmelin, 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

СОКРАЩЕНИЯ. Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

БЛАГОДАРНОСТИ. В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ. Пристатейные ссылки и/или списки пристатейной литературы следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления (http://www.bookchamber.ru/GOST_P_7.0.5.-2008). Список работ представляется в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами ставится пробел.

ТРАНСЛИТЕРИРОВАННЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES). Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические описания русскоязычных работ даются в латинской транслитерации, рядом в квадратных скобках помещается их перевод на английский язык. Выходные данные приводятся на английском языке (допускается транслитерация названия издательства). При наличии переводной версии источника можно указать ее. Описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатных онлайн-сервисов транслитерации, вариант BSI.

Внимание! С 2015 года каждой статье, публикуемой в «Трудах Карельского научного центра РАН», редакцией присваивается уникальный идентификационный номер цифрового объекта (DOI) и статья включается в базу данных Crossref. **Обязательным условием является указание в списках литературы DOI для тех работ, у которых он есть.**

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 631.53.027.32:635.63

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЗАКАЛИВАНИЯ СЕМЯН НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

Е. Г. Шерудило¹, М. И. Сысоева¹, Г. Н. Алексейчук², Е. Ф. Марковская¹

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²Институт экспериментальной ботаники НАН Республики Беларусь им. В. Ф. Купревича

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L.; кратковременное снижение температуры; устойчивость.

E. G. Sherudilo, M. I. Sysoeva, G. N. Alekseichuk, E. F. Markovskaya. EFFECTS OF DIFFERENT REGIMES OF SEED HARDENING ON COLD RESISTANCE IN CUCUMBER PLANTS

Аннотация на английском языке

Keywords: *Cucumis sativus* L.; temperature drop; resistance.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последствии 10-минутного охлаждения (2 °С) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2 °C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, мкм ² Chloroplast cross-sectional area, μm ²	10,0 ± 0,7	13,5 ± 1,1	12,7 ± 0,5
Площадь среза митохондрии, мкм ² Mitochondria cross-sectional area, μm ²	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,6 ± 0,04
Площадь среза пероксисомы, мкм ² Peroxisome cross-sectional area, μm ²	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	2 ± 0,3	2 ± 0,3	3 ± 0,4

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

(а) – электронная микрофотография кварца; (б) – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; (в) – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Duldurga:

(а) – electron microphotograph of the quartz sample; (б) – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; (в) – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

References:

Vol'f G. N. Dispersiya opticheskogo vrashheniya i krugovoj dikhroizm v organicheskoy khimii [Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry]. Ed. G. Snattske. Moscow: Mir, 1970. P. 348–350.

Patrushev L. I. Ekspressiya genov [Gene expression]. Moscow: Nauka, 2000. 830 p.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журн. общ. биол. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione // Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi:10.1199/tab.0142

References:

Viktorov G. A. Mezhhvidovaya konkurentsiya i sosushhestvovanie ehkologicheskikh gomologov u paraziticheskikh pereponchatokrylykh [Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera]. Zhurn. obshh. biol. [Biol. Bull. Reviews]. 1970. Vol. 31, no. 2. P. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione. Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi: 10.1199/tab.0142

Ссылки на материалы конференций

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

References:

Mar'inskikh D. M. Razrabotka landshaftnogo plana kak neobkhodimoe uslovie ustoichivogo razvitiya goroda (na primere Tyumeni) [Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen)]. *Ekologiya landshafta i planirovanie zemlepol'zovaniya*: Tezisy dokl. Vseros. konf. (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) [Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000)]. Novosibirsk, 2000. P. 125–128.

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

References:

Sheftel' B. I. Ekologicheskie aspekty prostranstvenno-vremennykh mezhvidovykh vzaimootnoshenii zemlerоек Srednei Sibiri [Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 1985. 23 p.

Lozovik P. A. Hidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p.

Ссылки на патенты

Патент РФ № 2000130511/28.04.12.2000.

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

References:

Patent RF № 2000130511/28. 04.12.2000 [Russian patent No. 2000130511/28. December 4, 2000].

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optiko-elektronnyi apparat [Optoelectronic apparatus]. Patent Rossii № 2122745 [Russian patent No. 2122745]. 1998. Bulletin No. 33.

Ссылки на архивные материалы

Гребенщиков Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

References:

Grebenshchikov Ya. P. K nebol'shому kursu po bibliografii: materialy i zametki, 26 fevr. – 10 marta 1924 g. [Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924]. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10.

Ссылки на интернет-ресурсы

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.12.2015).

Демография. Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

References:

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Sistema Sotsionet kak platforma dlya razrabotki nauchnykh informatsionnykh resursov i onlainovykh servisov [Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services]. Elektron. b-ki [Digital library]. 2003. Vol. 6, iss. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

Demografija. Oficial'naja statistika [Demography. Official statistics]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal state statistics service]. URL: <http://www.gks.ru/> (accessed: 25.12.2015).

Ссылки на электронные ресурсы на CD-ROM

Государственная Дума, 1999–2003 [Электронный ресурс]: электронная энциклопедия / Аппарат Гос. Думы Федер. Собрания Рос. Федерации. М., 2004. 1 CD-ROM.

References:

Gosudarstvennaya Duma, 1999–2003 [State Duma, 1999–2003]. Electronic encyclopedia. The office of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Moscow, 2004. 1 CD-ROM.

Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences
No. 6, 2020
“Industrial minerals of Karelia and adjacent regions”

TABLE OF CONTENTS

PREFACE.	5
V. V. Shchiptsov, I. N. Burtsev, D. V. Zhirov, A. V. Voloshin, D. O. Mashin. INDUSTRIAL MINERALS OF NORTH EUROPEAN RUSSIA	7
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	36
T. P. Bubnova, L. S. Skamnitskaya, V. P. Ilyina. FELDSPAR RAW MATERIAL IN THE REPUBLIC OF KARELIA AND ITS TECHNOLOGICAL ASSESSMENT	58
V. V. Shchiptsov, T. P. Bubnova, A. S. Zavertkin, A. G. Nikiforov, L. S. Skamnitskaya, P. V. Frolov. KYANITE ORES IN THE KHIZOVAARA ORE FIELD, NORTH KARELIA	75
V. V. Kovalevski, S.-P. Reinikainen, V. Reinikainen, V. S. Rozhkova, T. Sihvonen. SHUNGITE ROCKS OF VARYING GENESIS IN INNOVATIVE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES	97
E. N. Svetova, T. P. Bubnova, O. V. Bukchina. HIGH-SILICA ROCKS OF CENTRAL KARELIA – A POTENTIAL SOURCE OF QUARTZ RAW MATERIAL	106
CHRONICLE	
V. V. Shchiptsov, E. N. Svetova. The Commission on Mineral Processing of the Russian Mineralogical Society	117
REVIEWS AND BIBLIOGRAPHY.	122
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS	128

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра
Российской академии наук**
№ 6, 2020

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ КАРЕЛИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Печатается по решению Ученого совета
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 12 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева
Компьютерная верстка Г. О. Предтеченский

Подписано в печать 23.06.2020. Дата выхода 30.06.2020. Формат 60x84^{1/8}.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 14,8. Усл. печ. л. 15,8.
Тираж 120 экз. Заказ 610. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50