

УДК 553.04 (470.22)

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

В. В. Щипцов^{1,2}, В. И. Иващенко¹

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН, ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

² Петрозаводский государственный университет, Россия

В статье приведен обзор по твердым полезным ископаемым Лоухского, Кемского и Беломорского районов. Актуальность геологических сведений отражает значимость минерально-сырьевого потенциала данной территории для социально-экономического развития северных районов в свете отнесения их к Арктической зоне РФ (указ Президента РФ от 27 июня 2017 г.). Начало целенаправленных геологических исследований прямым образом связано со строительством Мурманской железной дороги. Значительную территорию Арктической зоны Республики Карелия охватывают архейские гранитоидные образования. Особенностью геологического строения региона является система неархейских зеленокаменных поясов. Сформирована уникальная сложноскладчатая структура полиметаморфических пород полихронного развития. Раннепалеопротерозойская рифтогенная система шириной до нескольких десятков километров вдоль границы Карельской и Беломорской провинций объединена общим источником мантийного магмообразования. Минерально-сырьевую базу территории определяют металлические (Mo, Cu, U, Au, Ag, ПГМ, редкие металлы и РЗЭ) и неметаллические (алмазы, апатит, гранат, графит, диатомиты, ильменит, карбонатные породы, кварц, кварциты, полевошпатовое сырье (керамические пегматиты и нетрадиционные типы), кианит, мусковит, оливиниты (оливин), дуниты, самоцветы) полезные ископаемые. Литогеодинамические (структурно-вещественные) комплексы с их геохимическими ресурсами представляют рудоформирующий базис минерагенического потенциала арктической зоны Карелии. Общераспространенные полезные ископаемые (блочный камень, щебень, глины, торф, ПГС), ресурсы которых в арктической зоне Карелии довольно значительные, в данной статье не рассматриваются. Сделан вывод о том, что минерагенический потенциал недр арктической зоны Карелии еще не раскрыт полностью. Необходимо проведение дополнительных научно-исследовательских и поисково-оценочных работ с целью разработки Программы по развитию горнопромышленного комплекса арктических районов Карелии и ее реализации с привлечением частных инвесторов и госкорпораций.

Ключевые слова: Фенноскандинавский щит; докембрий; Арктическая зона Республики Карелия; минерально-сырьевой потенциал; молибден; золото; платина; палладий; ниобий; скандий; кварц; полевошпатовое сырье; гранат; кианит; мусковит; карбонатные породы; апатит; ильменит; магнезиальное сырье; горнопромышленный комплекс.

V. V. Shchiptsov, V. I. Ivashchenko. MINERAL POTENTIAL OF ARCTIC KARELIA

Hard useful minerals of the Louhi, Kem and Belomorian provinces are reviewed. The high demand for geological data echoes the significance of the mineral potential of this terri-

tory for the social and economic development of Arctic Russia (RF Presidential Decree of June 27, 2017). The commencement of targeted geological studies was directly connected with the construction of the Murmansk Railway. Archean granitoids occupy a large part of Arctic Karelia. One of the features of the region's geological structure is a system of Neoproterozoic greenstone belts. A unique complexly folded structure of polymetamorphic rocks, which evolved in polychronous manner, was formed. The Early Paleoproterozoic rift-induced system, tens of kilometres in width, extending along the boundary between the Karelian and the Belomorian provinces, has a common source of mantle magma formation. The mineral resources of the territory mainly consist of metallic (Mo, Cu, U, Au, Ag, PGM, rare metals and REE) and nonmetallic useful minerals (diamond, apatite, granite, graphite, diatomites, ilmenite, calcareous rocks, quartz, quartzites, feldspar (ceramic pegmatite and uncommon types), kyanite, muscovite, olivine (olivine), dunite and gemstones. Lithogeodynamic (structural and compositional) complexes with their geochemical resources are the ore-forming basis for Arctic Karelia's mineralogical potential. Widespread useful minerals (dimension stone, crushed stone, clay, peat, sand-gravel materials), which are abundant in Arctic Karelia, are not discussed in this paper. The authors have concluded that our knowledge of Arctic Karelia's mineralogical potential is still incomplete. Further scientific research, prospecting and appraisal are needed to work out a Programme for the development of Arctic Karelia's mining industry and to facilitate its implementation with the participation of private investors and state-run corporations.

Key words: Fennoscandian Shield; the Precambrian; Arctic Karelia; mineral potential; molybdenum; gold; platinum; palladium; niobium; scandium; quartz; feldspathic raw materials; garnet; kyanite; muscovite; calcareous rocks; apatite; ilmenite; Mg-rich materials; mining industry.

Введение

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является регионом особых геополитических, экономических, оборонных, научных и социально-этнических интересов. Во многом это определяется богатством ее недр [Граммберг и др., 2002; Бортников и др., 2015 и др.], назревшей необходимостью и возможностями их использования. В состав АЗРФ 27 июня 2017 г. включена территория Лоухского, Кемского и Беломорского муниципальных районов Республики Карелия (РК) [Указ..., 2017], чем и определяется актуальность своевременной оценки ее минерально-сырьевого потенциала.

Приводимый в статье обзор твердых полезных ископаемых Арктической зоны РК (АЗРК) дает представление о состоянии и перспективах развития ее минерально-сырьевой базы и горнодобывающей промышленности.

Лоухский, Беломорский, Кемский районы имеют выход к побережью Белого моря, которое непосредственно сообщается с Ледовитым океаном, поэтому климат и географические особенности карельского Поморья делают его пусть и южной, но все-таки составной частью Арктики.

В меридиональном направлении все районы пересекают железнодорожная и автомобильная (Р-21 «Кола») магистрали, имеющие федеральное значение и связывающие территорию с югом и севером страны.

История изучения и освоения недр Арктической зоны Республики Карелия

По историческим сведениям [Гинзбург, 1919 и др.], освоение «подземных кладовых» АЗРФ начиналось с арктических территорий Карелии. В Западном Беломорье экономически значимый промысел мусковита зародился не позднее X – первой половины XIV века и до начала XIX века обеспечивал как внутренний, так и внешний рынок. Сохранившиеся следы былой деятельности по добыче мусковита свидетельствуют о длительно существовавшей развитой слюдяной промышленности.

Толчком для развития геологических исследований уже в современный исторический период стало обращение Управления по строительству Мурманской железной дороги в Геолком в 1916 г. В 1922 году создается контора Чупинских разработок (Чупгорн). Разработки в промышленном масштабе начались вблизи поселка Чупа-Пристань, на о-ве Олений, Панфилова Варакка. В 1932 году в Чупинском районе впервые в СССР при разведке пегматитовых жил было применено колонковое бурение.

Кустпромсекция Совнархоза КАССР осуществляла учет всех рек, в которых занимались добычей жемчуга, с указанием ближайших деревень и числа лиц-промысловиков, а также причин, по которым промысел заброшен (иссыкание жемчужниц, отсутствие орудий лова и т. д.) [Опарин, 1976]. На основании

полученных данных некоторое время спустя на реке Кереть была организована артель жемчугоголов, занимавшаяся этим промыслом в довоенное время.

В 30-е годы открыто Хизоваарское месторождение кианитовых руд. В довоенный период в Лохском районе оценены месторождения диатомитов (Ряпуксозеро, Амбарная ламбина и Сигозеро) [Минерально-сырьевая..., 2006].

Основным результатом съемочных и поисково-оценочных работ СЗТУ [Зак, Киселев, 1957] в 1954–1956 гг. стал подсчет запасов титановых руд по категориям C_1 и C_2 на участке Суриваара Елетьозерского массива.

Первые сведения о гранатовых проявлениях Шуерецкого района даны П. А. Борисовым, который в 1929–1930 гг. проводил исследования на договорных началах с трестом «Карелгранит». Впоследствии выявлены перспективные проявления гранатовых руд, среди которых первоочередное значение имеет Тербеостровское месторождение [Игнатьев, 1934].

Геологические особенности территории

Особенности геологического строения и развития северокарельской части Фенноскандинавского щита, охарактеризованные в многочисленных опубликованных материалах, на уровне максимально краткого фактографического обобщения сводятся к следующему.

Арктические районы РК расположены на площади эрозионного среза, подвергшейся многократной активизации. Значительную территорию занимают архейские гранитоиды, среди которых широко распространена тоналит-трондьемит-гранодиоритовая ассоциация (ТТГ-ассоциация) с возрастом 3,0–2,8 млрд лет. Особенностью геологического строения данной территории является система неоархейских зеленокаменных поясов (ЗП), включающая супракрустальные комплексы Северо-Карельского, Пибозерского (Карельская провинция) и Центрально-Беломорского ЗП. Центрально-Беломорский ЗП, как и Чупинский парагнейсовый комплекс, входит в структуру Беломорской провинции (рис. 1). Таким образом, мы имеем дело с уникальной сложно-складчатой структурой полиметаморфических пород полихронного развития.

Для ЗП характерны несколько стратотектонических ассоциаций. Например, для Хизоваарской и Ириногорской структур [Щипанский и др., 1999, 2001; Кожевников, 2000; Бибикова и др., 2003] выделено четыре стратотектонические ассоциации: нижняя мафическая, метаандезитов, осадочно-вулканогенная

и базитовая. На основе палеогеодинамических реконструкций В. Н. Кожевников сделал вывод, что хизоваарский зеленокаменный комплекс является тектоническим коллажем четырех стратотектонических ассоциаций, образование которых связывается с заложением и последующим развитием энсиматической островодужной системы и ее преддуговой области ~2,8 млрд лет [Кожевников, 2000].

Палеопротерозойскому периоду (эратеме) соответствуют в рамках Беломорской и Карельской провинций четыре системы (надгоризонты), формирование которых происходило в границах АЗРК, – сумий, сариолий, ятулий, людиковий, которые на приводимой схеме геологического строения (рис. 1) укрупнены до масштаба сумий-сариолий и ятулий-людиковий.

На рассматриваемой территории сумийскими и сариолийскими образованиями сложены мелкие структуры в виде реликтов раннепалеопротерозойской рифтогенной системы шириной до нескольких десятков километров вдоль границы Карельской и Беломорской провинций, объединенной общим источником мантийного магмообразования. В этой системе наиболее отчетливо выражены три рифтовые структуры с преобладающим развитием кислых вулканитов с повышенным содержанием мантийных элементов (Cr, Mg и др.) – Лехтинская, Шомбозерская и Панаярвинская [Геология..., 1987]. По данным [Корсакова и др., 2011], магматы кислых вулканитов Беломорской провинции представлены телами гранитов и чарнокитов с возрастом 2,45–2,41 млрд лет.

Для сумийского интрузивного магматизма характерны расслоенные мафит-ультрамафитовые массивы и отдельные интрузивные тела (Кивакка, Луккулайсваара, Ципринга и др.) [Геология..., 1987] с возрастом 2,45–2,40 млрд лет [Amelin et al., 1995].

В некоторых относительно крупных ятулийских структурах выделены пачки вулканитов, отражающие особенности их тектоники (Панакуюларви, Лехтинская, Шомбозерская), в других структурах вулканиты показаны совместно с осадками.

Особое внимание привлекают новые данные о возрасте дифференцированных массивов Тикшеозерского и Елетьозерского (Северная Карелия), в составе которых выделяются щелочные породы (нефелиновые сиениты и др.) и карбонатиты с оливинитами и габброидами. Их возраст составляет 2070–2086 млн лет [Шарков и др., 2015], что древнее, чем считалось ранее (1,9–1,8 млрд лет); возраст карбонатитов определен в 2 млрд лет [Corfu et al., 2011]

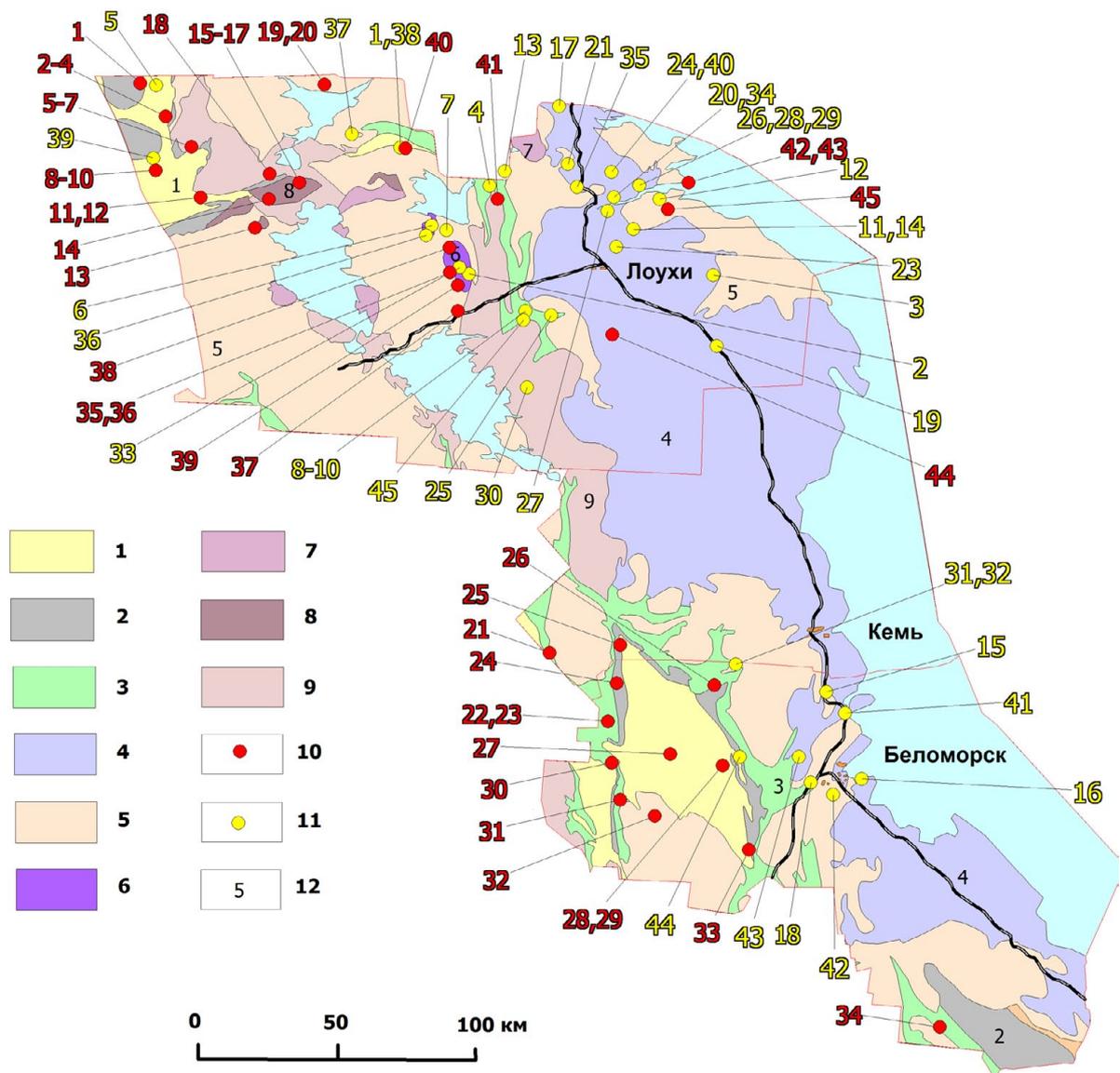


Рис. 1. Карта размещения месторождений и проявлений металлов и промышленных минералов арктических районов РК. Составители В. В. Щипцов, В. И. Иващенко. Использованы: Геологическая карта Кольского региона (ред. Ф. П. Митрофанов, 2001); Карта размещения месторождений и проявлений промышленных минералов Карело-Кольского региона (сост. В. В. Щипцов и Н. И. Щипцова, 2012):

1 – ятулий-людиковый нерасчлененные (2,30–1,92 млрд лет); 2 – сумий-сариолий нерасчлененные (2,5–2,3 млрд лет); 3 – комплексы зеленокаменных поясов (2,88–2,72 млрд лет); 4 – комплексы Беломорской провинции (2,9–1,8 млрд лет); 5 – ТТГ-карельский комплекс (архейский фундамент) (3,0–2,8 млрд лет); 6 – щелочно-габбровые расслоенные интрузивы с карбонатитами (2,07–2,00 млрд лет); 7 – граниты (2,70–2,65 млрд лет); 8 – расслоенные интрузивы основных и ультраосновных пород (2,45–2,40 млрд лет); 9 – чарнокиты, гранодиориты, монцониты (2,778–2,720 млрд лет); 10 – месторождения и рудопроявления металлов; 11 – месторождения и проявления промышленных минералов; 12 – номер надгоризонта.

Металлы: 1 – месторождение Au Майское; 2–12 – U-Au проявления Пана-Куоляярвинской структуры: 2 – Лагерное, 3 – Озерное, 4 – Кварцевое, 5 – Сиеппи, 6 – Исосиеппи, 7 – Каутио, 8 – Альбит-1, 9 – Хейкинваара, 10 – Ристаниеми, 11 – Корпела, 12 – Сувалампи; 13–17 – Pt-Pd-Au Олангской группы расслоенных интрузий: 13 – Кивакка, 14 – Ципринга, 15–17 – Луккулайсваара (15 – Надежда, 16 – Восточное, 17 – Череп); 18 – Соколезерская алмазоносная площадь; 19, 20 – Ta-Nb-Y пегматиты: 19 – Визиполуостров, 20 – Аськиярви; 21 – Mo-порфировое месторождение Пяяваара; 22 – Cu-Au-порфировое месторождение Лобаш-1; 23 – Mo-Re-порфировое месторождение Лобаш; 24–32 – Au проявления Лехтинской структуры: 24 – Южная Сянда, 25 – Колгеваара, 26 – Маслозеро, 27 – Вильямлампи, 28 – Шуезерское Cu-Mo-Au месторождение, 29 – Риговаракка, проявления: 30 – Au-U Железные Ворота, 31 – Au-Cu Нигалма, 32 – Au-Ag Тунгуда; 33 – Au Пайозеро; 34 – Ni Пулозеро; Еletzозерский массив: проявления: 35 – Ce, Zr Южное; 36 – Nb, Ta, La, Ce, Y, Zr, Hf, Be Еletzозерское; 37 – Nb, Ta, Zr, Hf, Ce Кестеньское; 38 – Nb, Y, Th, Zr, Hf Копанецкое; 39 – Zr, Hf, Ce Черное; 40 – Ag, Cu Хирвинаволок; 41 – Au Рябоярви; 42 – Au, Ag, Cu Медвежья Губка; 43 – Au, Ag, Cu, Zn Керетьское; 44 – PGM, V, Ti, Fe Травяная Губа; 45 – PGM, Au, Ni, Cu Климовское.

Промышленные минералы: 1 – Хирвинаволок Gft; 2 – Суриваара Ilm; 3 – Никонова Варакка Qu; 4 – Степаново озеро Qu; 5 – Майское Qu. Тикшеозерский массив: 6 – Карбонатитовое Ap, Ca; 36 – Шапкозерское Ol, Du; 7 – Восточное Ilm, Ap.

Хизоваарская структура: 8 – Южная Линза Ky, Qu, Py; 9 – Северная Линза; 10 – Восточная Линза; 25 – Межозерное My; 45 – Высота-181 Gr, Ky, Stav. Проявления гранатовых руд (Gr): 11 – Плотина; 12 – Левин Бор; 13 – Униярви; 14 – Западная Плотина Gr, Stav; 15 – Кожручейское; 16 – Кузостровское; 17 – Нигрозеро; 18 – Удинское; 19 – Энгозерское. Месторождения мусковита (My, Qu): 20 – Малиновая Варакка; 21 – Тэдино; 22 – Плотина My, Qu, Gr; 23 – Слюдозеро; 24 – Карельское; 25 – Межозерное. Месторождения Mi, Peg: 26 – Хетоламбина; 27 – Чкаловское; 28 – Уракка; 29 – Блинковые Вараки, 30 – Пиртима My, Peg; 31 – Охтинское поле; 32 – Подужемье-Половина Peg; 33 – Елетьозеро Fsp, Ne; 34 – Озеро Долгое Fsp; 35 – Нижнее Котозеро Fsp; 36 – Шапкозерское Ol, Du; 37 – Ханкус Ol; 38 – Кукасозерское Grf; 39 – Соваярвинское Carb; 40 – Хитостров Cord; 41 – Тербеостров Gr, Ky; 42 – Слюдяной Бор Fsp, Peg; 43 – Торлов Ручей Peg; 44 – Роза-Лампи Fsp

Fig. 1. Map showing the distribution of metal and industrial mineral deposits and occurrences in the Arctic region of the Republic of Karelia. Compiled by V. V. Shchiptsov, V. I. Ivashchenko. The used maps: A geological map of the Kola Region (edited by F. P. Mitrofanov, 2001); A map of the distribution of industrial mineral deposits and occurrences in the Karelian-Kola Region (compiled by V. V. Shchiptsov and N. I. Shchiptsova, 2012):

1 – undivided Jutulian-Ludicovian (2.30–1.92 Ga); 2 – undivided Sumian-Sariolian (2.5–2.3 Ga); 3 – greenstone belt complexes (2.88–2.72 Ga); 4 – complexes in the Belomorian Province (2.9–1.8 Ga); 5 – TTG-Karelian complex (Archean basement) (3.0–2.8 Ga); 6 – layered alkaline-gabbro intrusives with carbonatites (2.07–2.00 Ga); 7 – layered mafic and ultramafic rock intrusives (2.45–2.4 Ga); 8 – granites (2.7–2.65 Ga); 9 – charnockites, granodiorites monzonites (2.778–2.720 Ga); 10 – metals deposits and occurrences; 11 – industrial mineral deposits and occurrences; 12 – superhorizon number.

Metals: 1 – Maiskoye Au deposit; 2–12 – U-Au occurrences of the Pana-Kuola structure: 2 – Lagernoye, 3 – Ozernoye, 4 – Kwartsevoye, 5 – Sieppi, 6 – Isosieppi, 7 – Kautio, 8 – Albite-1, 9 – Heikinvara, 10 – Ristiniemi, 11 – Korpela, 12 – Suvalampi; 13–17 – noble metals (Pt-Pd-Au) occurrences of the Olanga layered intrusions group: 13 – Kyvakka, 14 – Tspringa, 15–17 – Lukkulaisvara (15 – Nadezhda, 16 – Vostochnoye, 17 – Cherep); 18 – Sokolozero diamond area; 19, 20 – rare metal (Ta-Nb-Y) pegmatites: 19 – Vizipoluostrov, 20 – Askiyarvi; 21 – Pyayavaara Mo porphyry deposit; 22 – Lobash-1 Cu-Au porphyry deposit, 23 – Lobash Mo-Re porphyry deposit; 24–32 – Au occurrences of the Lehta structure: 24 – Yuzhnaya Syanda, 25 – Kolgevaara, 26 – Maslozero, 27 – Vilyamlampi, 28 – Shuezersky Cu-Mo-Au deposit, 29 – Rigovarakka, occurrences: 30 – Au-U Zheleznye Vorota, 31 – Au-Cu Nigalma, 32 – Au-Ag Tunguda, 33 – Au Paiozero; 34 – Ni Pulozero; Yeletozero massif occurrences: 35 – Yuzhnoye Ce, Zr; 36 – Yeletozerskoye Nb, Ta, La, Ce, Y, Zr, Hf, Be; 38 – Kopanetskoye Nb, Y, Th, Zr, Hf; 39 – Chernoye Zr, Hf, Ce; 37 – Kestengskoye Nb, Ta, Zr, Hf, Ce; 40 – Hirvinavolok Ag, Cu; 41 – Ryaboyarvi Au; 42 – Medvezhya Gubka Au, Ag, Cu; 43 – Keretskoye Au, Ag, Cu, Zn; 44 – Travyanaya Guba PGM, V, Ti, Fe.

Industrial minerals: 1 – Hirvinavolok Gft; 2 – Surivaara Ilm; 3 – Nikonova Varakka Qu; 4 – Stepanovo Ozero Qu; 5 – Mayskoye Qu. Tikshozero massif: 6 – Carbonatitovoye Ap, Ca; 36 – Shapkozerskoye Ol, Du; 7 – Vostochnoye Ilm, Ap. Hizovarskaya structure: 8 – Yuznaya Lense Ky, Qu, Py; 9 – Severnaya Lense; 10 – Vostochnaya Lense; 25 – Mezhozernoye My; 45 – Vysota-181 Gr, Ky, Stav. Garnet ore Gr occurrences: 11 – Plotina; 12 – Levin Bor; 13 – Yniyarvi; 14 – Zapadnaya Plotina Gr, Stav; 15 – Kozhrucheiskoye; 16 – Kuzostrovskoye; 17 – Nigrozero; 18 – Udinskoye; 19 – Engozerskoye. Muscovite deposits (My, Qu): 20 – Malinovaya Varakka; 21 – Tedino; 22 – Plotina My, Qu, Gr; 23 – Slyudozero; 24 – Karelskoye; 25 – Mezhozernoye. Mi, Peg deposits: 26 – Hetalambina; 27 – Chkalovskoye; 28 – Urakka; 29 – Blinkovy Varaky, 30 – Pirtima My, Peg; 31 – Ohtinskoye Pole; 32 – Poduzhemi-Polovina Peg; 33 – Yeletozero Fsp, Ne; 34 – Lake Dolgoye Fsp; 35 – Nizhnee Kotozero Fsp; 36 – Shapkozerskoye Ol, Du; 37 – Hankus Ol; 38 – Kukasozerskoye Grf; 39 – Sovayarvinskoye Carb; 40 – Hitostrov Cord; 41 – Terbeostrov Gr, Ky; 42 – Slyudyanyoy Bor Fsp, Peg; 43 – Torlov Ruchei Peg; 44 – Roza-Lampi Peg; 45 – Klimovskoye PGM, Au, Ni, Cu

Полезные ископаемые АЗРК

Минерагению этих районов в целом и минерально-сырьевую базу территории в частности определяют металлические (Mo, Cu, U, Au, Ag, ПГМ, редкие металлы и РЗЭ) и неметаллические (алмазы, апатит, гранат, графит, диатомиты, ильменит, карбонатные породы, кварц, кварциты, полевошпатовое сырье (керамические пегматиты и нетрадиционные типы), кианит, мусковит, оливиниты (оливин), дуниты, самоцветы) полезные ископаемые. Из обзора исключены общераспространенные полезные ископаемые (блочный камень, щебень, глины, жемчуг, торф, ПГС).

Выделены эндогенные, экзогенные и метаморфогенные серии месторождений и проявлений полезных ископаемых АЗРК. К ним относятся следующие основные классы: раннемагматический и позднемагматический (V, Nb, Pt, Pd, Au, анортозит, сиенит, кварцевый порфир); щелочной флюидно-магматический карбонатитовый (Fe, Ti, РЗЭ REE, апатит, кальцит, пиррохлор, оливин, серпентинит, дунит);

пегматитовый – магматогенный и флюидно-метаморфогенный (Nb, Ta, Li, РЗЭ REE, пегматит, полевой шпат, мусковит, кварц); гидротермальный – плутогенный и вулканогенно-осадочный (медно-молибден-золото-порфировые с Re и ¹⁸⁷Os, кварц); остаточный и переотложенный (кварц); механический россыпной и биохимический (континентальные золото-россыпные, жемчуг, диатомит, сапропель); метаморфогенный – регионально-метаморфизованный и приразломных метасоматитов (Au, U, V, Mo, Se, пирит, мрамор, кварцит, кианит, гранат, ставролит, кварц, мусковит).

Минерагения и, соответственно, минерально-сырьевой потенциал АЗРК определяются особенностями ее геологического развития и распространенностью в настоящее время в ее пределах металлогенически перспективных литогеодинамических (структурно-вещественных) комплексов. В этом аспекте данные комплексы с их геохимическими ресурсами представляются как рудоформирующий базис минерагенического потенциала рассматриваемого региона.

Структурно-вещественные комплексы архейских зеленокаменных поясов, развитые в АЗРК, относятся к системе так называемых [Богатиков и др., 2011] «внешних» ЗП северо-восточного «аккреционного» фланга Карельской провинции, где корообразующие процессы в мезо- и неоархейское время были связаны с последовательной аккрецией островодужных террейнов, формировавшихся в обширном океаническом бассейне на месте нынешнего Беломорского подвижного пояса. Сформированный при этом ороген относится к аккреционному типу, считающемуся [Kerrich et al., 2000; Leahy et al., 2005 и др.] значительно более высокопродуктивным на золото, чем коллизионные орогены «внутренних» ЗП. Для арктической зоны Карелии это подтверждается наличием здесь в Пибозерском ЗП Лобашской золото-молибден-порфировой рудной системы с крупным месторождением молибдена (Лобаш) и наиболее значимым в Карельском регионе Cu-Au-порфировым месторождением Лобаш-1.

Следующий этап металлогенического развития арктической зоны Карелии связан с формированием в раннем протерозое на границе Карельского кратона и Беломорского подвижного пояса длительно (2,5–1,7 млрд лет) развивающегося внутриконтинентального Северонорвежско-Онежского рифта [Турченко, 2007 и др.] (палеопротерозойского Лапландского зеленокаменного пояса по: [Ranikka et al., 1989]). На современном эрозионном срезе палеорифт представлен локальными разобщенными структурами – Киттиля, Куоляярвинская, Куусамо, Панаяярвинская, Кукасозерская, Шомбозерская, Лехтинская и др. Металлогения этого этапа определялась главным образом внедрением расслоенных интрузий Олангской группы (Pt, Pd, Au, Cu, Ni), становлением Ельтьозерско-Тикшеозерского щелочно-карбонатитового комплекса (Ti, V, P, Nb, TRE) и накоплением обогащенных золотом, платиноидами, ураном и др. металлами углеродсодержащих вулканогенно-осадочных толщ и конгломератов, служивших в последующем (Свекофеннский тектоно-магматический цикл) базовыми рудными формациями при формировании комплексных золоторудных объектов орогенного мезотермального типа в Куоляярвинской, Шомбозерской и Лехтинской структурах.

Свекофеннская эволюция арктической зоны Карелии связана с процессами, сопровождавшими закрытие Лапландско-Кольского океана и последующим столкновением двух крупных блоков архейской коры, Карельского и Кольского, что привело к формированию

крупного коллизионного орогена [Daly et al., 2006]. В ходе этого в ранее сформированных геологических структурах заложились системы преимущественно субмеридиональных сдвиговых зон, служивших проводниками флюидов, ответственных за ремобилизацию рудных концентраций в базовых рудных формациях и образование золотоносных метасоматитов. Золоторудная минерализация этого типа известна в районе Верхние Кичаны, такая же и комплексная золото-урановая – в Лехтинской, Шомбозерской и Куоляярвинской структурах, медно-никелевая золото-платиноидная – на участке Климовский. Со свекофенским этапом связано также формирование редкометалльных пегматитов (Аськиярви и др.) и иттриевоземельно-скандиевой пиральспитовой минерализации в беломорских гнейсах.

Металлические полезные ископаемые АЗРК

Молибден. В арктических районах Карелии известно два молибденовых месторождения – Лобаш и Пяяваарское (рис. 1). В генетическом аспекте оба относятся к порфировому типу оруденения, являющемуся ведущим промышленным типом молибденовых месторождений в мировом масштабе.

Месторождение Лобаш [Тытык, 1991] представлено крупным (2000 × 500–750 × 200 м) линейным кварцево-жильным штокверком (рис. 2) с молибденитом и другими сульфидами. Вмещающими породами являются метавулканы лопия и частично эндоконтактовая зона гранитоидов.

В пределах молибденоворудного штокверка выделяется промышленное рудное тело 500–650 × 2000 × 100–200 м, нижняя граница которого в целом совпадает с поверхностью кровли гранитной интрузии, а верхняя устанавливается по данным опробования. Возраст оруденения – 2720 ± 36 млн лет (молибденит, Re/Os) [Богачев и др., 2013]. Распространение и морфология рудного штокверка определяется кровлей гранитной интрузии. Рудная и геохимическая зональность на месторождении Лобаш отвечает классической [Кривцов, 1989 и др.] для порфировых рудных систем: от кровли гранитоидов и к периферии штокверка – молибденит, пирит – пирротин, халькопирит – галенит, сфалерит, золото, серебро. Кроме рудного штокверка на месторождении установлено молибденовое оруденение кварцево-жильного типа, образующее рудную зону мощностью до 130 м и протяженностью около 1 км. Молибденовые руды месторождения по своим технологическим свойствам относятся к легкообогатимым.

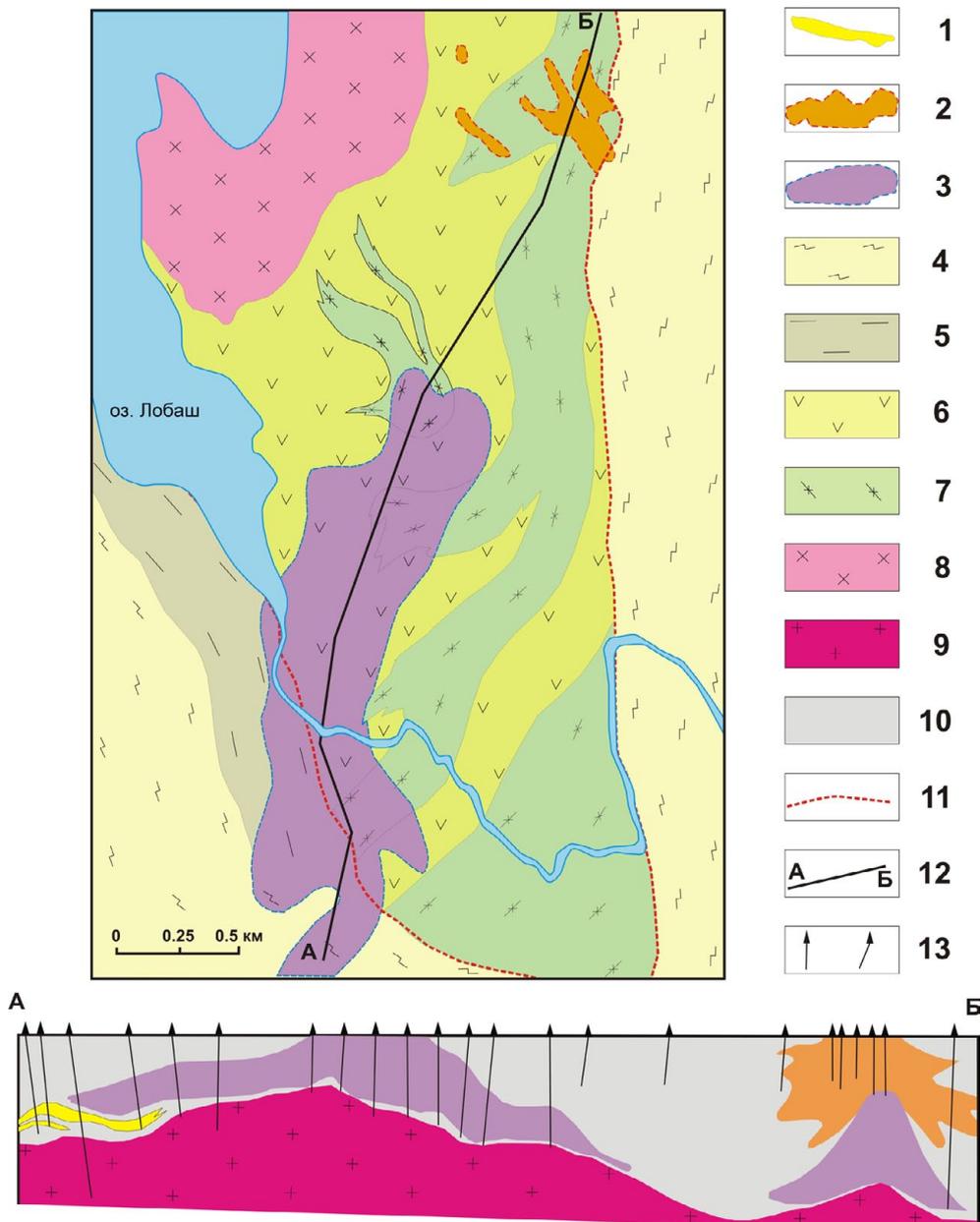


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Лобашского рудного поля [Тытык, Фролов, 2014]:

1 – жильные сульфидно-кварцевые тела; 2 – золоторудное месторождение Лобаш-1; 3 – молибденовое месторождение Лобаш; 4, 5 – нижний протерозой, сумийский надгоризонт: 4 – сланцы кварц-полевошпат-карбонатные, серицит- и хлоритсодержащие порфиробластические линзовиднополосчатые; 5 – кварциты и кварцитопесчаники; 6, 7 – верхний архей, лопий, пезозерская серия нерасчлененная: 6 – измененные эффузивные и интрузивные (субвулканические) породы основного состава, 7 – нерасчлененная сланцевая толща метавулканитов (амфиболовые плагиосланцы, биотитовые кварц-плагиоклазовые сланцы); 8 – плагиограниты и гранодиориты биотитовые серые средне- и крупнозернистые порфиroidные массивные; 9 – рудогенные граниты биотитовые светло-серые среднезернистые порфиroidные массивные; 10 – нерасчлененная супракрустальная толща (4–7) на разрезе; 11 – граница структурно-стратиграфического несогласия; 12 – линия геологического разреза; 13 – буровые скважины

Fig. 2. Geological sketch map of the Lobash Ore Field [Tytyk & Frolov, 2014]:

1 – veined sulphide-quartz bodies; 2 – Lobash-1 gold deposit; 3 – Lobash molybdenum deposit; 4, 5 – Lower Proterozoic, Sumian superhorizon: 4 – quartz-feldspar-carbonate, sericite and chlorite-bearing porphyroblastic lenticular-banded schists; 5 – quartzites and quartzitic sandstones; 6, 7 – Upper Archean, Lopian, undivided Pebozero series: 6 – altered effusive and intrusive (subvolcanic) mafic rocks, 7 – undivided metavolcanic schist sequence (amphibole plagioclases, biotite quartz-plagioclase schists); 8 – grey medium- to coarse-grained porphyreous massive biotite plagiogranites and granodiorites; 9 – light-grey medium-grained porphyreous massive ore-bearing biotite granites; 10 – undivided supracrustal sequence (4–7) cross-sectional view; 11 – structural-stratigraphic unconformity boundary; 12 – geological section line; 13 – boreholes

Разведанные запасы поставлены на государственный баланс (протокол ЦКЗ Мингео СССР от 14.02.1991 г. № 30).

Запасы штокверковых руд месторождения Лобаш по категории C_1 83418 – руда, в тыс. т, и 56,9 – молибден, в тыс. т, среднее содержание молибдена, %, 0,068; по категории C_2 121436 – руда, в тыс. т, и 71,2 – молибден, в тыс. т, среднее содержание молибдена, %, 0,059 [Тытык, Фролов, 2014].

На месторождении Лобаш при условии его промышленной разработки на молибден может также добываться рений и моноизотоп осмия – ^{187}Os . Эти два металла являются остродефицитными стратегическими и исключительно дорогостоящими – Re (~5000 dol/kg), ^{187}Os (200 тыс. dol/gr). Содержание Re в молибдените месторождения Лобаш составляет 22–70 г/т, ^{187}Os – 0,6–2,0 г/т [Богачев и др., 2013], соответственно прогнозные ресурсы рения ~ 12 т, ^{187}Os ~ 65 кг. В денежном эквиваленте это составляет 60 млн и 13 млрд долл.

Расположенное в 32 км к северо-западу от месторождения Лобаш Пяяваарское молибденовое месторождение (рис. 1) с прогнозными ресурсами 101,7 тыс. т молибдена [Минерально-сырьевая..., 2005] также относится к порфиоровому типу, отличаясь от Лобаша более значительной эродированностью и низким содержанием молибдена в рудах.

Золото. Месторождения и проявления золота в арктических районах Карелии известны в архейском Пибозерском зеленокаменном поясе, Беломорском мобильном поясе и на российском продолжении палеопротерозойских зеленокаменных поясов – Куусамо и Лапландского, вмещающих на территории Финляндии ряд промышленных золоторудных месторождений орогенного типа, в том числе и крупнейшее в Европе – Суурикуосикко (добыто > 40 т золота; резерв ~ 150 т).

В архейском Пибозерском ЗП размещается золото-порфиоровое месторождение Лобаш-1 (рис. 1), являющееся частью рудно-магматической системы Лобашского гранитного плутона [Тытык и др., 1998; Минерально-сырьевая..., 2005 и др.]. Штокверковая золоторудная минерализация локализована в экзоконтактовом ореоле гранитоидного плутона на удалении 300–400 м от его кровли (рис. 2). Непосредственно в эндо-экзоконтакте плутона развито штокверковое молибденовое оруденение (молибденовое месторождение Лобаш). Золотонесущая минерализация сосредоточена в карбонат-сульфидно-кварцевых прожилках, жилах и зонах прокварцевания

мощностью до 1–2 м, сопряженных с рассланцеванием, биотитизацией и пропицитизацией, интенсивно проявленных вдоль контактов пород разной кремнекислотности и особенно вблизи кварцевых порфиров и риодацитов [Минерально-сырьевая..., 2005]. Рудоносный пологозалегающий штокверк размером 300 × 800 м прослеживается до глубины 250–300 м (рис. 2). В рудных телах, имеющих преимущественно линзовидно-пластовую морфологию со средней мощностью 0,9–1,8 м и протяженностью 20–235 м, среднее содержание золота составляет 4,71 г/т, меди – 0,4 %, серебра – 10 г/т. По переоценке, произведенной в 2010 г. [Протокол..., 2010], месторождение Лобаш-1 переведено в разряд крупнообъемных комплексных золотосодержащих со следующими содержаниями, запасами и ресурсами: золото – 0,46 г/т, C_2 – 34,4 т, P_1+P_2 – 209,7 т; медь – 0,18 %, C_2 – 126,2 тыс. т, P_1+P_2 – 771,8 тыс. т.

В российской части палеопротерозойского ЗП Куусамо, представленного Куоляярвинской структурой (рис. 3), известны золоторудные и золото-урановые рудные объекты, сформированные в процессе Fe-Mg-Si-го, калиевого и углекислотного метасоматоза, сопряженного с проявлением сдвиговых деформаций в нижних частях разреза зеленокаменных толщ в период главной компрессионной стадии Свевокарельского орогенеза.

Месторождение Майское размещается в восточной краевой части Куоляярвинской структуры (рис. 3), сложенной породами ятулийского и людиковийского надгоризонтов нижнего протерозоя, и приурочено к субмеридиональной сдвиговой дислокации. Вмещающими породами для месторождения являются базальт-андезиты и туфы апарвинской свиты ятулия. Породы в районе месторождения метаморфизованы в фации зеленых сланцев. Кроме сдвиговой зоны одним из рудоконтролирующих факторов оруденения может быть также не вскрытый эрозией гранитоидный массив, выделяемый по данным гравиразведки в 2 км к северу от месторождения [Вольфсон, 2004].

Золотоносными являются кварцево-жильные зоны протяженностью 2,5–3,8 км, залегающие в основных вулканитах (рис. 4), претерпевших тремолитизацию, биотитизацию, альбитизацию, карбонатизацию и, по данным А. А. Вольфсона [2004], гумбеитизацию.

Месторождение представлено двумя параллельными системами крутопадающих золотоносных кварцевых жил № 1 (рис. 5) и № 40 мощностью до 5–6 м северо-восточного субмеридионального простирания,

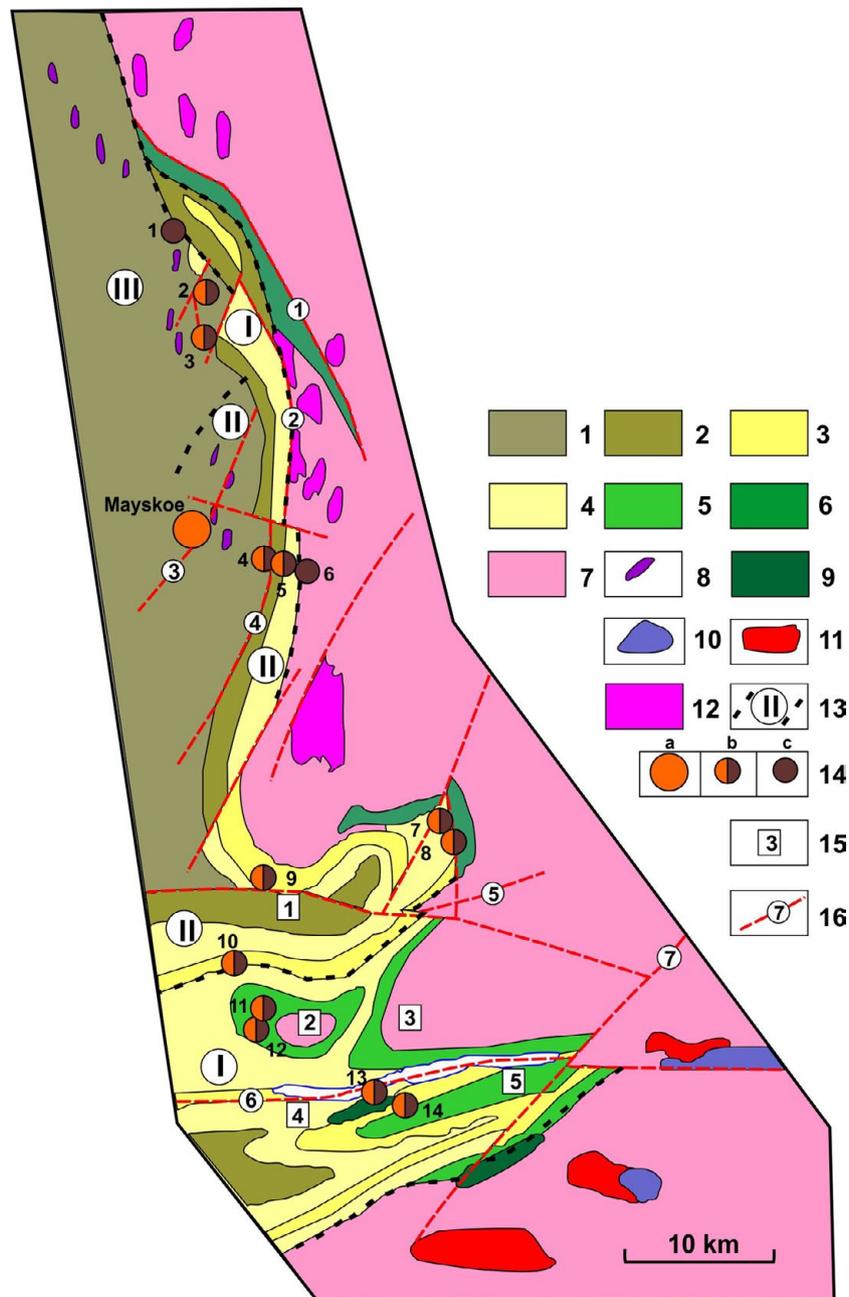


Рис. 3. Геологическая схема размещения золоторудных проявлений на российской части (Пана-Куоляярвинский прогиб) палеопротерозойского зеленокаменного пояса Куусамо [Афанасьева и др., 2004]:

1 – суйсарий: базальты, пикробазальты, вулканические брекчии, лавы среднего состава с маломощными прослоями туфов; 2 – людиковий: алевролиты, алевропелиты, туфы, туфоалевролиты, углеродистые и углеродсодержащие сланцы, прослои известняков и доломитов; 3, 4 – ятулий: 3 – базальты, порфириды, прослои туфов; 4 – песчаники, кварцитопесчаники, аркозы, кварцевые конгломераты, кварциты, алевролиты, доломиты; 5 – сумий-сариолий: андезиты, андезибазальты, туфы, туфоконгломераты, туфобрекчии сариолия, кварцевые порфиры, кератофиры сумия; 6 – амфиболовые, биотит-амфиболовые сланцы, амфиболиты; 7 – гнейсы, гранитогнейсы; 8 – гипербазиты; 9 – диабазы, габбродиабазы; 10 – расслоенные перидотит-габброноритовые интрузии; 11 – граниты микроклиновые, плагиомикроклиновые; 12 – плагиограниты; 13 – границы структурных (структурно-металлогенических) зон: I – краевая, II – промежуточная, III – центральная; 14 – месторождения золота (а), рудопроявления золото-урановые (b), урановые (с) (1 – Апоярви, 2 – Алим-Курсуярви, 3 – Алакуртти, 4 – Лагерное, 5 – Озерное, 6 – Кварцевое, 7 – Сиеппи, 8 – Исосиеппи, 9 – Каутио, 10 – Альбит-1, 11 – Хейкинваара, 12 – Ристаниеми, 13 – Корпела, 14 – Сувалампи); 15 – крупные структуры: синклинали – Соваярвинская (1), Панаярвинская (4); антиклинали – Рааку-Тунтури (2), Мянтю-Тунтури (3), Минаваарская (5); 16 – разрывные нарушения: Ниваярвинский (1), Восточно-Куоляярвинский (2), Центральный (3), Западно-Куоляярвинский (4), Соваярвинский (5), Панаярвинский (6), Олангский (7)

Fig. 3. Geological scheme showing the distribution of gold occurrences in the Russian sector (Pana-Kuolajarvi depression) of the Paleoproterozoic Kuusamo greenstone belt [Afanasyeva et al., 2004]:

1 – Suisarian: basalts, picrobasalts, volcanic breccia, mafic lava with thin tuff intercalations; 2 – Ludicovian: siltstones, aleuropelites, tuffs, tuffaceous siltstones, carbonaceous and coaly shales, limestone and dolomite interbeds; 3, 4 – Jatulian: 3 – basalts, porphyrites, tuff interbeds; 4 – sandstones, quartzitic sandstones, arkoses, quartz conglomerates quartzites, siltstones, dolomites; 5 – Sumian-Sariolian: Sariolian andesites, andesite-basalts, tuffs, tuffaceous conglomerates, tuffo-breccia, Sumian quartz porphyry, Sumian keratophyres; 6 – amphibole, biotite-amphibole schists, amphibolites; 7 – gneisses, granite-gneisses; 8 – hyperbasic rocks; 9 – diabases and gabbro-diabases; 10 – layered peridotite-gabbro-norite intrusions; 11 – microcline, plagiomicrocline granites; 12 – plagiogranites; 13 – boundaries of structural (structural-metallogenic) zones: I – marginal, II – intermediate, III – central; 14 – gold deposits (a), gold-uranium occurrences (b), uranium occurrences (c) (1 – Apajärvi, 2 – Alim-Kursujärvi, 3 – Alakurtti, 4 – Lagernoe, 5 – Ozernoe, 6 – Kvarzevoe, 7 – Sieppi, 8 – Isosieppi, 9 – Kautio, 10 – Aljbit-1, 11 – Heykinvaara, 12 – Ristaniemi, 13 – Korpela, 14 – Suvalampi); 15 – large structures: Synclines – Sovajärvi (1), Paanajärvi (4); anticlines – Raaku-Tunturi (2), Mänty-Tunturi (3), Minavaara (5); 16 – faulting: Nivajärvi (1), East Kuolajärvi (2), Tsentralny (3), West Kuolajärvi (4), Savojarvi (5), Paanajärvi (6), Olanga (7)

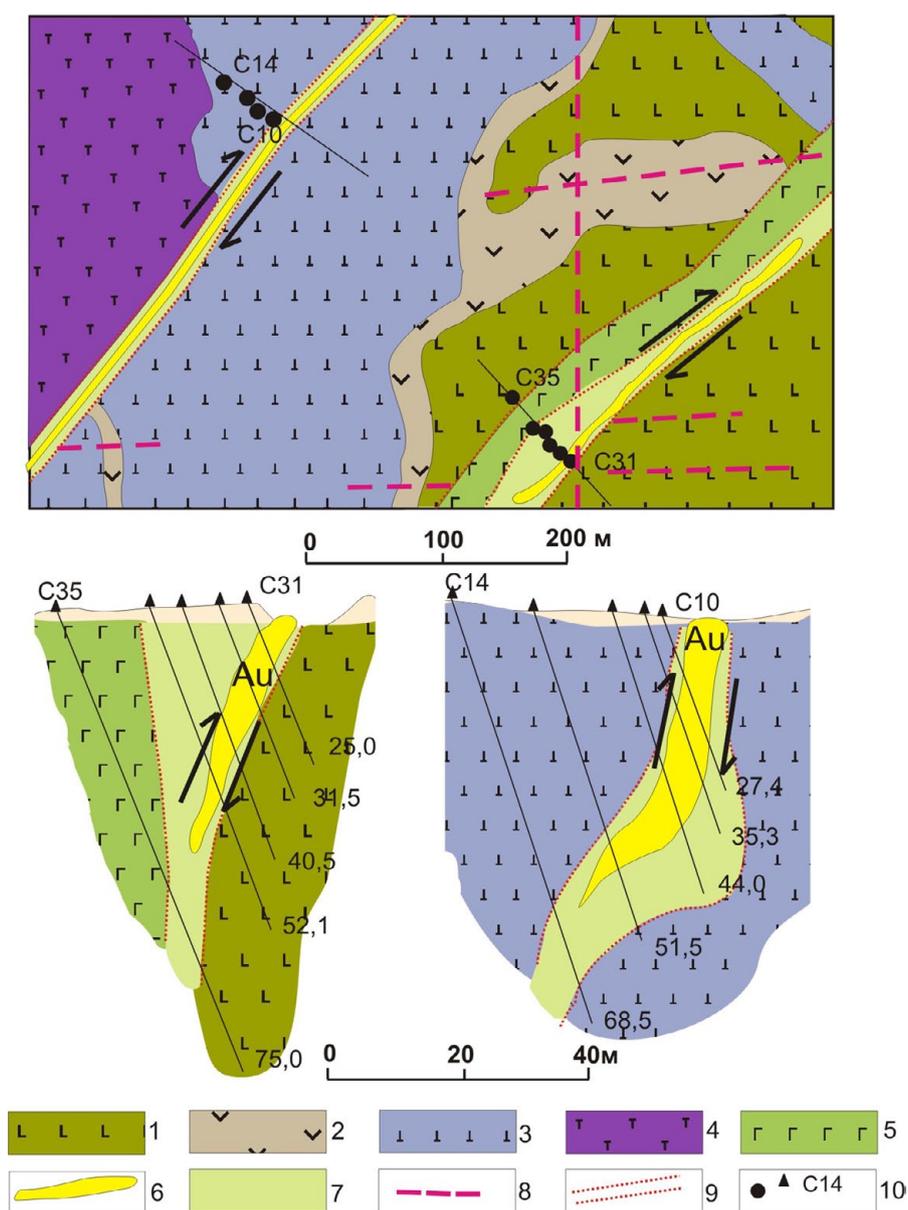


Рис. 4. Схема геологического строения золоторудного месторождения Майское [Безруков, 1989]:

1 – metabasalts; 2 – тuffосланцы; 3 – метабазальты меланократовые; 4 – апопироксенитовые породы; 5 – метагаббро; 6 – золотонесные кварцевые жилы; 7 – катаклазиты и бластокатаклазиты (метасоматиты березит-пропилитового и гумбеитового ряда в сдвиговой зоне); 8 – тектонические нарушения; 9 – контуры околожилных метасоматических изменений; 10 – пробуренные скважины

Fig. 4. Scheme showing the geological structure of the Maiskoye gold deposit [Bezrukov, 1989]:

1 – metabasalts; 2 – tuffaceous schists; 3 – melanocratic metabasalts; 4 – apopyroxenitic rocks; 5 – metagabbro; 6 – auriferous quartz veins; 7 – cataclasites and blastocataclasites (beresite-propylite and gumbeyite-series metasomatic rocks in a shear-zone); 8 – tectonic dislocations; 9 – contours of metasomatic alterations near veins; 10 – drilled boreholes



Рис. 5. Частично выработанная золотоносная кварцевая жила № 1 месторождения Майское
 Fig. 5. Partly worked-out auriferous quartz vein No. 1 of the Maiskoye deposit

расположенными в 240–250 м друг от друга (рис. 4) и прослеживающимися по простиранию на 2,5 и 3,8 км. Протяженность жил в пределах месторождения – 250–300 м по простиранию, ~60–80 м по падению. Морфология жил пластинообразная линзовидная, местами четковидная с раздувами и пережимами.

Оруденение золото-кварцевого малосульфидного типа ассоциируется с мелкозернистым гранулированным кварцем. Содержание рудных минералов 0,5–1 %, в отдельных гнездах – 3–5 % [Безруков, 1989; Сафонов и др., 2001; Нерадовский, 2010; Иващенко, Голубев, 2011]. Продуктивной является золотоносная теллуридно-галенитовая минеральная ассоциация. Золото встречается в виде чешуек, дендритов, тетраэдрических кристаллов, изометричных и ксеноморфных выделений размером 0,01–1,5 мм (рис. 6), а также микронных зерен. Пробность преобладающей части крупного золота – 840–960 ‰, мелкого, часто ассоциирующегося с зигенитом, гораздо ниже – вплоть до электрума.

Согласно результатам изотопных (^{18}O , ^{13}C , ^{34}S , Pb) исследований [Сафонов и др., 2001], гидротермальные флюиды, сформировавшие кварцевые жилы и рудную минерализацию, имели магматическое и метаморфогенное

происхождение, а источник рудного вещества, вероятно, был мантийным. Время формирования оруденения, определенное Re-Os методом, по золоту самородному и халькопириту – 397 ± 15 млн лет [Бушмин и др., 2013]. Это, вероятно, связано с термальным воздействием девонского щелочного интрузива Саланлатва, расположенного в 16 км к северу от месторождения.

Содержание золота в рудах месторождения Майского – крайне варьирующее, от следов до сотен г/т. Элементы-спутники золота – Cu (до 1 %), Pb (до 0,3 %), Ag (0,008 %), As (0,015 %), Sb, Bi, Mo, W. Руда легкообогатима, свыше 90 % золота извлекается гравитационным способом. Запасы по C_2 до глубины 30 м – 196,8 кг при среднем содержании Au 7,625 г/т. Прогнозные ресурсы – 537 кг $\text{P}_1 + \text{P}_2$.

В Куолаярвинской структуре известно значительное число проявлений с комплексным благороднометалльным оруденением (Au, Pt, Pd, U), имеющим признаки как орогенного мезотермального типа, так и железооксидного с медью и золотом (IOCG) – Алакуртти, Алим-Курсуярви и др. (рис. 3).

Ряд комплексных благороднометалльно-урановых проявлений в Пана-Куолаярвинской структуре (Озерное, Лагерное и др.) имеют

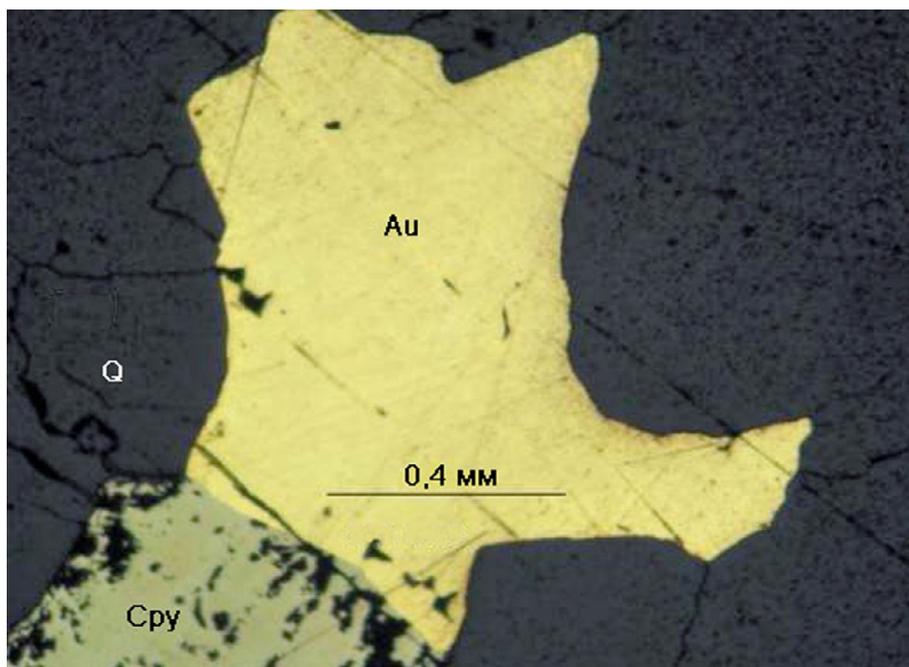


Рис. 6. Золото самородное в рудах месторождения Майское [Нерадовский, 2010]

Fig. 6. Native gold in ores from the Maiskoye deposit [Neradovsky, 2010]

повышенное содержание молибдена (до 0,2–0,3 %). При этом молибденит характеризуется аномально высокими концентрациями рения (до 1,2 %) и селена (до 15 %), впервые установленными А. А. Калининым [Калинин и др., 2014] и подтвержденными нашими исследованиями. Данное обстоятельство раскрывает новые металлогенические перспективы Пана-Куоляярвинской структуры.

На продолжении Лапландского ЗП в Карелии [Pankka, Vanhanen, 1989] в зоне сочленения Карельской и Беломорской провинций (рис. 1) по состоянию изученности известно несколько незначительных по размерам золоторудных проявлений [Минерально-сырьевая..., 2005 и др.], по своим особенностям в большинстве своем отвечающим мезотермальному орогенному типу. Они локализованы в Шомбозерской (пр. Дмитрия, Шуоярви, Ожиярви) и Лехтинской (100 × 50 км) структурах (рис. 1), которые по строению разреза и составу слагающих их пород (верхнеятулийские и людиковийские лавы базальтов с горизонтами туфогенных образований и ассоциирующихся с ними карбонатных пород, силицитов, железистых осадков, графитистых алевролитов, с силлами и дайками габбродолеритов и дифференцированных габбро-перидотитовых интрузий) сопоставимы с палеопротерозойскими зеленокаменными структурами Финляндии. В пределах Лехтинской структуры выявлено более двух десятков

проявлений золота с содержанием до 2–4 г/т, не представляющих практического интереса [Леонтьев и др., 2003; Иванов и др., 2010]. Большинство из них относится к орогенному мезотермальному типу (Вильямлампи, Муезеро, Колгеваара, Хохлозеро, Поворотное, Маслозеро, Шавля, Тунгудское, Пайозеро и др.).

Рудопроявления в кварцевых конгломератах Железные Ворота, Риговаракка, Нигалма, Когу, Чурож, Лобашручей также имеют признаки тектонического контроля, приурочиваясь к зонам расщепления с интенсивным проявлением серицитизации, хлоритизации и пиритовой минерализации (1–10 %), сопровождаемой золотом. На рудопроявлении Железные Ворота содержание Au в полимиктовых конгломератах – 0,1–2,0 г/т, в кварцевых конгломератах – 0,01–1,0, до 6 г/т, в тектонических зонах с жильным прокварцеванием – 0,1–3,4 г/т. Сопутствующие элементы – U, Th, Zn, As, Bi. На рудопроявлении Нигалма содержание Au – до 0,1–3,0 г/т [Иванов и др., 2010 и др.].

По результатам последних геолого-поисковых работ в Лехтинской структуре [Иванов и др., 2010] наиболее перспективной на золото представляется ее западная краевая часть, в пределах которой выделяется Колгеваарско-Железноворотинский рудный узел, протягивающийся в субмеридиональном направлении на 25 км (возможно, и более) при ширине

3–4 км. Перспективными на промышленное золото малосульфидного кварцевого типа представляются участки широкого распространения метавулканитов кисло-среднего и среднего-основного состава с интенсивно проявленными низкотемпературными метасоматическими изменениями (березитизация, пропицитизация), а также рассланцеванием, катаклизмом и брекчированием в пределах сопряженных систем сдвиговых зон разного порядка. Прогнозные ресурсы золота для данного рудного узла определены по категории P_3 в 32 т [Иванов и др., 2010].

В Беломорском мобильном поясе широкомасштабное проявление процессов комплексного (Au, Ag, PGM, Cu, Ni) архей-протерозойского рудогенеза выявлено в породах чупинской толщи [Ручьев, 2001 и др.]. Свекофеннский структурно-метаморфический комплекс (разномасштабные зоны сдвиговых дислокаций и сингенетичных им диафторитов фации биотит-мусковитовых гнейсов) по совокупности признаков выделен в качестве потенциально золотоперспективного.

Еще раньше [Гинзбург, 1921] после обнаружения высокого содержания золота в беломорских «фальбандах» было начато изучение благороднометалльных проявлений в хетоламинской толще [Саморуков и др., 1985 и др.], продолженное работами ВСЕГЕИ [Петров и др., 2007; Шевченко и др., 2009], выделившими на Лоухской поисковой площади как наиболее перспективный Климовский рудный узел.

Климовский рудный узел характеризуется широким распространением горизонтов золото- и МПГ-содержащих метасоматитов, развитых по ортоамфиболитам и амфиболовым сланцам, являющихся, вероятно, гетерогенными образованиями, в том числе и измененными основными породами комплекса лерцолитов-габброноритов. Формирование метасоматитов, вероятно, связано со свекофеннской эпохой тектоно-термальной активизации (1,85–1,7 млрд лет) и контролируется протяженными зонами сдвиговых дислокаций [Петров и др., 2007; Шевченко и др., 2009]. Метасоматиты содержат рассеянную сульфидную вкрапленность (пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, виоларит), иногда линзовидные обособления массивных колчеданных руд. Отмечаются также минералы благородных металлов – теллуриды и висмутотеллуриды палладия (меренскит, майчнерит, мончеит, котульскит), арсенид платины – сперрилит, родий- и палладийсодержащий кобальтин-герсдорфит. В пределах рудного узла выделено шесть согласно залегающих, протяженных (свыше

9 км) горизонтов рудоносных метасоматитов со средней мощностью 30 м, имеющих комплексную медно-никелевую (Ni – 0,28–0,5%, Cu – 0,26–1,0%) и золото-платино-палладиевую (Pd – 0,23–1,4 г/т, Pt – 0,16–0,3 г/т, Au – 0,3–0,6 г/т) специализацию.

По результатам технологических испытаний, выполненных в ОАО Институт «Гипроникель», рудоносные метасоматиты Климовского рудного узла являются бедными, но хорошо обогащаемыми благороднометалльными рудами [Петров и др., 2007].

Суммарные прогнозные ресурсы категории P_1+P_2 по Климовскому рудному узлу составляют: Au – 36,4 т, Pt – 19,5 т, Pd – 27,9 т, Cu – 316 тыс. т, Ni – 340 тыс. т [Петров и др., 2007]. При проведении геолого-разведочных работ последующих стадий имеются высокие перспективы на перевод Климовского рудного узла в класс крупных большеобъемных комплексных (Cu, Ni, Au, МПГ) месторождений.

Кроме того, известные еще с начала прошлого века [Гинзбург, 1921] высокие концентрации золота (до 10 г/т) в измененных колчеданных рудах (фальбандах) Чупинской губы, частично подтвержденные более поздними исследованиями [Ахмедов и др., 2005], и выявленные ими же золото-сульфидные проявления в районе рудников Хетоламина, Чкаловский, Булка, несущие признаки оруденения мезотермального орогенического типа, свидетельствуют о возможном более широком проявлении данного типа оруденения в Беломорской провинции.

Металлы платиновой группы. Известно несколько перспективных рудопроявлений в расслоенных интрузивах Олангской группы (рис. 1), из которых Луккулайсваара является самым крупным (8 × 4 км) и наиболее хорошо изученным. В его пределах проведены поисково-съёмочные работы, а также детальные поиски на установленных здесь рудопроявлениях Надежда и Восточное КЗ, составлена геологическая карта м-ба 1:25 000 и 1:5000 [Клюнин, 1994 и др.]. Возраст массива Луккулайсваара по бадделеиту – 2437 ± 1 млн лет [Барков и др., 1991].

В строении массива выделяется пять серий (зон): нижняя – краевая (20–30 м), ультраосновная (600–900 м), норитовая (1200–1800 м), габброноритовая (500–900) и габбровая (900–1000 м). Нижняя краевая серия изучена недостаточно. В ее составе преобладают тектонически измененные «закалочные» габбронориты.

Наиболее значительные концентрации МПГ установлены в зонах относительного обогащения сульфидами (халькопирит, пентландит,

пирротин, миллерит, пирит и др.), однако и в этих зонах общее их содержание редко достигает 1 об. %, и только в микрогабброноритах изредка отмечаются шлировидные обособления размером в первые десятки сантиметров, сложенные массивными и густовкрапленными сульфидными скоплениями.

Комплексное (Pd, Pt, Au, Ni, Cu) платино-металльное оруденение приурочено к норитовой серии дифференциатов и отличается необычайным разнообразием минеральных фаз и парагенезисов [Glebovitsky et al., 2001 и др.]. Кроме собственных минералов МПГ (более 20) в тесной ассоциации с ними встречаются минералы ряда кобальтин-герсдорфит с примесью родия и палладия, палладийсодержащий пентландит, гессит, электрум, самородное золото. Наиболее широкий спектр сульфидов и минералов МПГ отмечается в пегматоидных разновидностях микрогабброноритов.

В относительно повышенных количествах сульфиды и минералы МПГ отмечаются в нескольких горизонтах (рудных зонах) расслоенных серий массива Луккулайсваара, приуроченных к двум рудным уровням – Надежда и Критическая Зона, в пределах которых выявлено 7 рудопроявлений. Наиболее перспективными из них и по которым оценены прогнозные ресурсы категории P_1 являются Надежда и Восточное Критической Зоны. Содержание МПГ в них достигает 1,5–2 и 20 г/т соответственно.

Разведочные работы проводила компания «Норит», оценка запасов и ресурсов МПГ+Au по выявленным перспективным рудным участкам массива Луккулайсваара, выполненная с участием ГУП РК «Северная ГРЭ», составила по категориям $P_1+C_1+C_2$ 74,3 т с содержанием $\Sigma Pt, Pd, Au$ 1,75 г/т.

Общие прогнозные ресурсы благородных металлов по Олангской группе проявлений составляют (P_1+P_2) ~ 200 т, в т. ч. золота ~ 20 т [Голубев и др., 2010].

В Беломорской провинции к потенциально МПГ-никеленосным относятся раннепалеопротерозойские образования комплекса лерцолитов-габброноритов (2,4–2,45 Ма), возрастные и формационные аналоги расслоенных интрузивов Койлисмаа и Оланги. В породах комплекса обнаружены минеральные фазы всех шести платиноидов: сульфоарсениды Ru, Os, Ir, Rh (руарсит, платарсит, холлингвортит – иногда Pd-содержащие); арсениды, сульфоарсениды, сульфиды Pt (платарсит, сперрилит, брэггит), арсениды и арсено-антимониды Pd (гуанглинит, мертиитит). Главные минералы – сперрилит и сульфоарсениды Ru, Pt, Rh. В зонах, где магматические породы

преобразованы в гранатые и биотитовые амфиболиты, отмечаются ксеноморфные выделения средне-низкотемпературных висмутотеллуридов Pd и Pt (майченерит, меренскиит, мончеит), а тугоплавкие минеральные фазы платиноидов отсутствуют [Кнауф и др., 2007].

Редкие металлы. Широко распространены на территории Карелии проявления Ta, Nb, Be, Li относятся к двум рудно-формационным группам – пегматитовой и альбитито-грейзеновой [Иващенко, 2016]. Редкометалльные пегматиты имеют, как правило, комплексную рудную нагрузку, но с низкими содержаниями и незначительными ресурсами. Изредка встречаются жилы с очень высокими концентрациями редких металлов, сопоставимые с разрабатывавшимися в сопредельной Финляндии (Сомеро-Таммела), проведение прогнозно-металлогенической оценки которых представляется целесообразным. В первую очередь это проявления Аськиярви и Визиполуостров на севере Карелии (рис. 1), имеющие, по данным бороздового опробования, проведенного ФГУП «Невскгеология», высокое содержание редких металлов.

Редкометалльная минерализация отмечается также в породах Елетьозерского щелочно-габброидного массива и Тикшеозерских карбонатитах. В щелочных пегматитах и метасоматитах Елетьозера содержание редких металлов достигает (%): Nb – 0,5; Ta – 0,015; Y – 0,5; La – 0,1; Ce – 0,3; Hf – 0,03; Zr – 1; Be – 0,3 [Минерально-сырьевая..., 2005]. В титаномагнетитовых рудах отмечается устойчиво повышенное содержание ниобия (~100 г/т), а во вмещающих их клинопироксенитах – скандия (30–40 г/т).

Редкоземельно-скандиевые гранатые проявления Беломорья. В качестве нетрадиционного перспективного комплексного источника Sc и Y РЗМ предложен [Ручьев, 2017] порообразующий метаморфогенный минерал пиральспитовый гранат. Установлено, что гранату из метаморфических сиалических и некоторых мафических пород свойственно промышленное содержание Sc_2O_3 (145–521 г/т) и высокоперспективный состав сопутствующих РЗМ (содержание их оксидов – 245–608 г/т, доля Y РЗМ – более 85,5 %). Прогнозные ресурсы скандия на некоторых гранатых объектах, оцененные с использованием опубликованных сведений о МСБ граната и новых данных о содержании в нем РМ, варьируют в диапазоне 0,7–695 т Sc_2O_3 и соразмерны запасам мелких месторождений ($Sc_2O_3 < 1$ тыс. т). Ресурсный потенциал пространственно сближенных и геологически сходных объектов кемско-беломорской группы

(не менее 1044 т Sc_2O_3) отвечает рангу среднего по запасам месторождения.

Известные в Карелии и на Кольском полуострове многочисленные месторождения и проявления пиральспитового граната, наряду с бадделейтом Ковдорского фоскорит-карбонатитового комплекса (среднее содержание Sc_2O_3 – 0,08 мас. %, прогнозные ресурсы Sc_2O_3 – 420 т [Калашников и др., 2017]) могут рассматриваться как основа МСБ для организации и развития скандиевой промышленности в СЗ части АЗРФ.

Неметаллические полезные ископаемые

Беломорская провинция

Основной генетический тип месторождений Беломорской провинции определяется эндогенными процессами пегматитообразования, проявленными в условиях диафореза и связанного с ним метасоматоза гнейсов, амфиболитов и мигматитов беломорского структурно-формационного комплекса. Промышленные минералы (мусковит, гранат-альмандин, микроклин, плагиоклаз, кварц, кианит, корунд), состоящие практически только из петрогенных макроэлементов, сформированы как минеральные месторождения и проявления промышленного значения в свекофеннский тектоно-магматический цикл.

Мусковит. Представляет собой самый распространенный гидроксил- и фторсодержащий алюмосиликат. Как источник сырья для различных отраслей промышленности он традиционно делится на два вида – листовый и мелкозернистый (пластины площадью 4 см²).

Во второй половине XX века поисково-разведочные мероприятия позволили создать современную сырьевую базу для ГОК «Карелслюда», выпускавшего более половины отечественного мусковита. Попутно из пегматитов извлекался кварц и полевошпатовое сырье.

Коренное изменение конъюнктуры мирового слюдяного рынка в 90-х годах XX в. привело к ликвидации инфраструктуры горнодобывающей промышленности и системы геологического обеспечения с необратимыми социальными последствиями, к пересмотру сырьевых стандартов и, наконец, к переориентации промышленных интересов на дефицитную чешуйчатую маложелезистую слюду и поискам ее рентабельных месторождений. Интенсивная разработка месторождений слюды началась в 30-е годы. В настоящее время известно 34 месторождения, но ни одно из них не эксплуатируется [Малов, Щипцов, 2016].

Области использования мусковитовых концентратов следующие: наполнители пластмасс, пигментов, в электродах для дуговой сварки, органосиликатных материалах, для влагозащитных и электроизоляционных покрытий и заливочных компаундов в электронной промышленности, в лакокрасочной и резиновой промышленности, в производстве слюдобумаг.

Керамические пегматиты. В настоящее время, не считая поставку малообъемных партий керамического сырья, месторождения в Северной Карелии (Лоухский район) фактически не разрабатываются [Минерально-сырьевая..., 2006].

Добыча керамического сырья была начата на севере Карелии с 1924 г. Основным эксплуатируемым месторождением являлось месторождение Хеталамбина. Это месторождение представлено жильными керамическими пегматитами, образованными в связи со свекофеннской активизацией Беломорской подвижной области. Вмещающими породами пегматитов являются гнейсы, гнейсо-граниты и амфиболиты мезоархей. К основным породообразующим минералам относятся микроклин – 65,2–95,8 %, плагиоклаз – 1,5–10,2 %, кварц – 1,7–11,2 %, мусковит – 0,1–1,6 %, биотит – 0,1–2,6 %. Второстепенные и акцессорные минералы: магнетит, сфен, циркон, кианит, пироксен, анатаз, турмалин, гранат, амфибол, ортит, карбуран, монацит [Минерально-сырьевая..., 2006]. Полевошпатовым сырьем керамических пегматитов месторождения Хеталамбина являются микроклин и микроклиновый пегматит, содержание которых колеблется от 28 до 76 % от общей пегматитовой массы. Имеются резервные участки – Ураккозерская и Кивгубская жильные зоны с прогнозными запасами 4,8 млн т.

Кварц. Все учтенные госбалансом РФ разведанные запасы кварца в Республике Карелия связаны со слюдяными и слюдяно-керамическими пегматитами Беломорской слюдоносной формации [Минерально-сырьевая..., 2006]. Кварц обособляется в виде блоков и слагает ядерные части пегматитовых жил в месторождениях и проявлениях (Малиновая Варакка, Большая Панфилова Варакка, Слюдяной Бор, Плотина, Хеталамбина, Тэдино, Станционное, Карельское, Слюдозеро, им. Чкалова, Никонова Варакка и др.) (рис. 1). Молочно-белый кварц пегматитовых жил характеризуется высоким качеством. Кварцевый концентрат, полученный из этого сырья, пригоден для производства кварцевой керамики, плавки прозрачного кварцевого стекла, варки высококачественного

многокомпонентного оптического стекла и синтеза искусственных кристаллов кварца [Минерально-сырьевая..., 2006].

Результаты аналитических исследований и технологических испытаний проб кварца этой группы месторождений показали, что состав и содержание минеральных примесей, их соотношение с кварцем позволяют применить эффективные способы обогащения сырья с целью получения кварцевой крупки необходимого качества для продукции различного целевого назначения, отвечающей требованиям ТУ 21-РСФСР-560-77 и ГОСТ 8680-73. Жильный кварц месторождений Северной Карелии может также частично заменить горный хрусталь III сорта (ОСТ 41-01-152-79). Содержание газо-жидких включений в жильном кварце данного типа ограничивает сферу его применения.

Прогнозные ресурсы на перспективных участках Беломорской провинции [Данилевская и др., 2004]: участок Пиртозеро – по кат. P_1+P_2 435 тыс. т, глубина оценки 50 м, удельная рудоносность 1500 т/км²; Хутор Половина – по кат. P_2 30 тыс. т, глубина оценки 20 м, удельная рудоносность 833 т/км²; район Шуецкого – по кат. P_2 39,7 тыс. т, глубина оценки 20 м, удельная рудоносность 418 т/км²; галечный тип – Кювиканда – по кат. P_2 11 тыс. т, глубина оценки 3 м.

Кианит. Литостратиграфический фактор отражает приуроченность интенсивного кианитообразования к метаморфитам Чупинского парагнейсового комплекса. При этом вещественный состав в наибольшем своем объеме определился на ранней стадии становления, а в дальнейшем на формирование структурно-текстурных особенностей и минерального состава пород оказали влияние наложенные процессы, среди которых ведущая роль отводится метаморфизму высокобарического кианитового типа (фациальная серия $B_2 - B$, по В. А. Глебовицкому [1973]). В составе данного комплекса присутствуют метаморфические разновидности широко распространенных глиноземистых гнейсов, для которых установлена последовательность их образования в едином генетическом ряду на всем протяжении развития ареала глиноземистых гнейсов от Неблогоры на северо-западе (Кольский полуостров) до губы Поньгомы на юго-востоке (западное Беломорье, Карелия) [Огородников и др., 2013].

Гранат. На территории АЗРК отмечается определенная закономерность размещения проявлений потенциально промышленного граната. Особенностью Беломорского подвижного пояса является то, что гранат здесь выступает в качестве распространенного

породообразующего минерала. Гранатовые проявления в его пределах относятся к метаморфогенному классу месторождений, образование которых определяется условиями амфиболитовой фации метаморфизма кианитового или кианит-силлиманитового типа. Особенно благоприятны условия метаморфизма средних температур и высоких давлений. Значительную роль играет также метасоматоз кислотной стадии кианит-мусковитовой и кварц-мусковитовой фаций [Щипцов и др., 2009].

По составу пород субстрата выделяются два типа гранатовых проявлений – в амфиболитах и высокоглиноземистых гнейсах чупинской свиты. К первому относятся Нигрозери, Южно-Керетское, Левин Бор, Энгозерское (участок Гранатовый), Дядина Гора, ко второму – Западная Плотина, северный берег оз. Варацкого, Слюдозери, Удинское, Кузостровское, Слюдяной Бор, Кузостров, Кислячиха, Кужручейское, Тербеостров, Солохина Луда, Еловый Наволок, Югра-Наволок [Щипцов и др., 2009] (рис. 1).

Месторождение Тербеостров представляет собой овальной формы высоту, вытянутую по азимуту СВ-30° свыше 900 м при ширине 80–300 м. Участок возвышается над уровнем окружающего обширного болота на 10 м, имея наивысшую абсолютную отметку 19,7 м. Содержание граната в амфиболитах варьирует от 2 до 12 %, редко встречаются наиболее пегматизированные участки, где его содержание достигает 30 %. Наиболее распространены порфиробластические амфиболиты с содержанием граната около 2 %. Минеральный состав: роговая обманка, плагиоклаз, кварц, гранат, биотит, рудный минерал, эпидот, сфен, рутил, апатит.

К гранатовым амфиболитам приурочены зоны гранат-амфибол-слюдяных пород – жедрититов и слюдитов, выделенных на месторождении В. С. Артамоновым и Н. А. Игнатьевым в 30-е годы. Породы, состоящие на 30–50 % из граната, представлены узкими длинными полосами, расположенными внутри гранатовых амфиболитов или на контакте амфиболитов со сланцами. Размеры гранатов в этих породах обычно наиболее крупные и колеблются от 2 до 25 см в поперечнике. Месторождение комплексное – гранат и кианит.

За рубежом технические гранаты широко используются в качестве абразивов, сорбентов, в станках для резки металлов.

Анортозиты. Котозерский массив размещен на площади развития образований беломорского комплекса Беломорского подвижного пояса (рис. 1) и сложен в основном светло-серыми и белыми сланцеватыми метаанортозитами,

окруженными повсеместно оболочкой черно-зеленых сланцеватых гранатовых амфиболитов. Среди метаанортозитов изредка отмечаются участки, сохранившие магматическую структуру. В краевых частях метаанортозиты сильно рассланцованы и превращены в плагиосланцы. Внутри массива встречаются мелкие линзы и жилоподобные тела мелкозернистых сланцеватых диопсид-гранатовых амфиболитов.

Геолого-технологические исследования показали принципиальную возможность обогащения анортозитов с получением плагиоклазового (лабрадорового) концентрата высокого качества [Шипцов и др., 2004].

Предварительные расчеты прогнозных ресурсов предполагают, что запасы достаточны для организации добычи с годовой производительностью карьера до 100 тысяч тонн и более.

Карельская провинция

Алмазы. В арктических районах Карелии к перспективным на алмазы относится Соколовская площадь (рис. 1). В 80-е годы прошлого века здесь были выявлены алмазы в четырех малообъемных (около 0,5–1,0 м³) и одной рядовой (~0,02 м³) шлиховых пробах, отобранных из водно-ледниковых, моренных и флювиогляциальных отложений [Клюнин, 1994]. Зерна алмазов размерностью 0,03–1,0 мм, имеющие форму октаэдров и додекаэдров, характеризуются слабой и средней окатанностью. Из минералов – спутников алмаза установлены пироп, хромдиопсид и хромшпинелиды. Канадская компания Диа Мет Минералз ЛТД завершила пять перспективных магнитных аномалий, но положительные результаты пока не достигнуты. Прогнозные ресурсы по Соколовской площади составляют 12 млн карат [Клюнин, 1994].

Кварц. Проведенные структурные и минералого-технологические исследования кварца на примере месторождения Майское показали, что помимо структурной химической чистоты (по данным исследований ЭПР) он характеризуется высокой однородностью внутреннего строения (индекс кристалличности – 7,5–8), низкой газонасыщенностью, что говорит об уникальной химической чистоте самого кварца. Сопоставление термоактивированных образцов кварца показывает наличие по крайней мере двух систем глубоких трещин, приводящих к дезинтеграции кварца на разновеликие по размеру зерна, обеспечивая снижение энергоемкости процессов измельчения [Скамницкая и др., 2016]. Для интенсификации процессов очистки изучено изменение качества

кварца при направленном воздействии силовыми полями, что позволило получить концентрат высокой чистоты с содержанием примесей не более 25 ppm.

Ниже приводятся данные по прогнозным ресурсам на перспективных участках Карельской провинции АЗРК [Данилевская и др., 2004]: жильный кварц – участок Рухнаволоок, жилы 1, 3, 7, 8 – по кат. P₁ 0,5 тыс. т, глубина оценки 10 м, удельная рудоносность 1500 т/км², жила 12 – по кат. P₂ 10 тыс. т, глубина оценки 30 м; участок дер. Тухкала – по кат. P₂ 32 тыс. т, глубина оценки 10 м, удельная рудоносность 1500 т/км²; кварцитовый тип оруденения – участок Степаново озеро – Рябовара, Степаново озеро – по кат. P₁ 20 тыс. т, глубина оценки 10 м, в целом по участку P₂ 175 тыс. т, глубина оценки 20 м (рис. 1).

Хизоваарское рудное поле

Хизоваарская структура (рис. 7) Северо-Карельского зеленокаменного пояса относится к реперу геологических процессов. Здесь особое минерагеническое значение имеют породы, относимые по содержанию Al₂O₃ к умеренно- и высокоглиноземистым [Хизоваарское..., 1988]. Региональный метаморфизм и ультраметаморфизм неоархейских комплексов сопровождается формированием метаморфогенных рудообразующих систем. Продуктивные метасоматиты, развитые по породам как кислого, так и основного состава, представлены кианитовыми и мусковитовыми кварцитами. С ними связано образование промышленных минералов (кианит, мусковит, кварц, гранат, ставролит). Установлена полигенность и полихронность докембрийских толщ и выделены метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический и метасоматический природные типы руд, образованные в условиях гранат-кианит-биотит-ортоклазовой субфации с переходом к ставролит-жедрит-кианитовой и гранат-кианит-биотит-мусковитовой субфации кианит-силлиманитовой фациальной серии B₂ по В. А. Глебовицкому [1973].

Экспериментальные данные по изучению устойчивости алюмосиликатов в условиях меняющейся кислотности-щелочности и при различных температурах и давлениях объясняют появление неоднотипных парагенезисов высокобарических минералов.

В метаморфических породах Хизоваарской структуры развиты кислые и основные метасоматиты, образованные при средних температурах (450–600 °С) и высоких давлениях (5–8 кбар), определенные В. А. Глебовицким

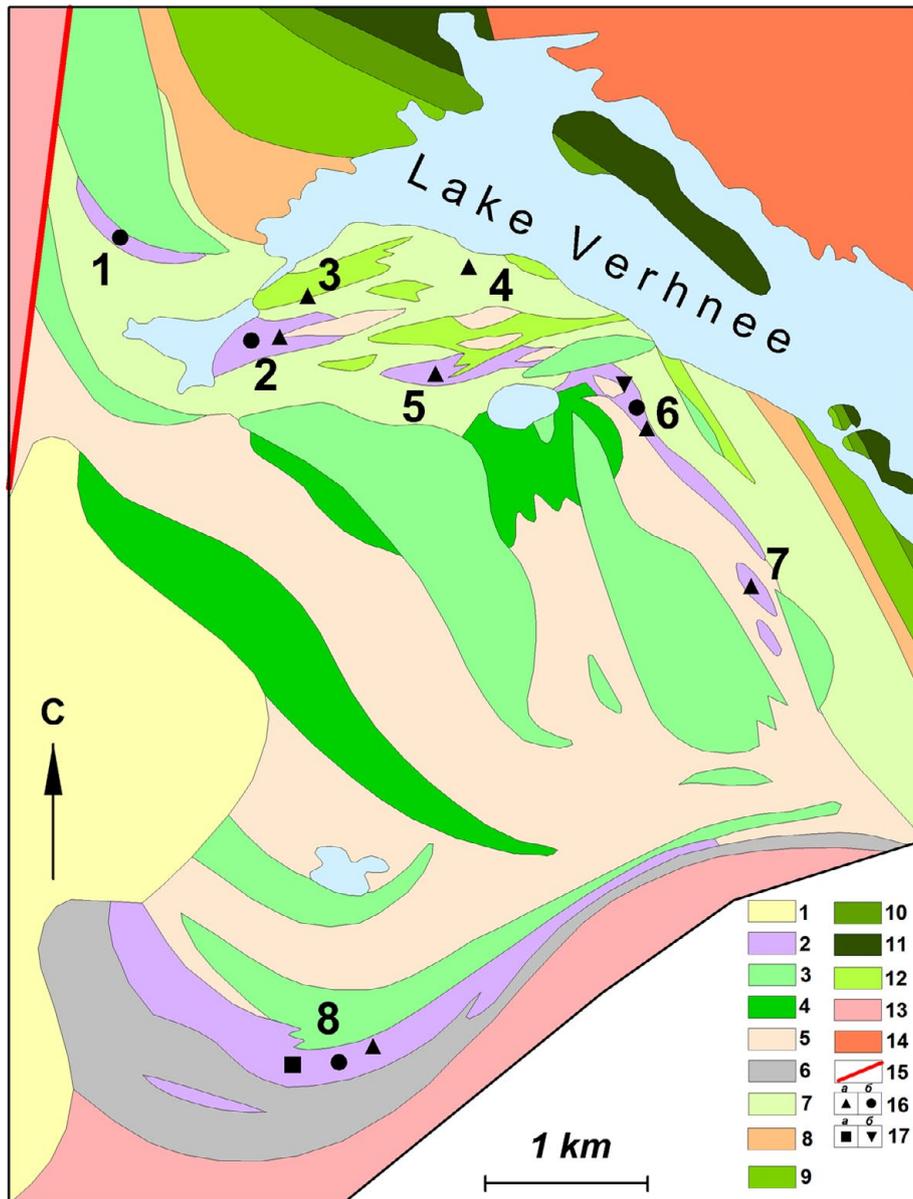


Рис. 7. Схема геологического строения Хизоваарского рудного поля. Составители В. В. Щипцов и Н. И. Щипцова, 2015 г.:

1 – четвертичные отложения; 2 – метасоматиты стадии кислотного выщелачивания; 3 – базальтовые лавы подушечного типа, силлы ультрабазитов; 4 – фельзитовые туфы, лавобрекчи; 5 – метадациты и метариолиты; 6 – силлы габбро; 7 – осадочно-вулканогенные и терригенные метаосадки; 8 – метаандезиты, гипербазитовые бониниты и базальты; 9 – мета-железистые базальты; 10 – бонинитовые серии метавулкаников; 11 – магниевые базальты с телами перидотитовых кумулатов. Интрузивные и субвулканические породы: 12 – тела субвулкаников от мафитов до фельзитов; 13 – диориты и гранодиориты; 14 – микроклиновые граниты; 15 – тектонические дислокации; 16 – промышленные минералы: а) кварц; б) кианит; 17 – промышленные минералы: а) мусковит; б) гранат. Цифрами на рис. обозначены рудопоявления: 1 – кварциты (кварц), 2, 3 – метаморфогенные кианитовые руды, 4 – метасоматические кианитовые руды с пиритом и графитовой минерализацией, 5 – метасоматические кианитовые руды с пиритом, 6 – метасоматические кварц-мусковитовые руды с кианитом, 7 – метасоматические кианитовые руды, 8 – метасоматические гранатовые руды с кианитом, ставролитом и кварцем

Fig. 7. Scheme showing the geological structure of the Khizovaara Ore Field. Compiled by V. V. Shchiptsov & N. I. Shchiptsova, 2015:

1 – Quaternary rocks; 2 – metasomatic rocks at an acid leaching stage; 3 – basalt lava of pillow type, ultrabasic rock sills; 4 – felsic tuffs, lava-breccia; 5 – metadacites and metarhyolites; 6 – gabbro sills; 7 – sedimentary-volcanic and terrigenous metasediments; 8 – metaandesites, hyperbasic boninites and basalts; 9 – metaferrous basalts; 10 – boninite series of metavolcanics; 11 – Mg-rich basalts with peridotite cumulate bodies. Intrusive and subvolcanic rocks: 12 – subvolcanic mafic to felsic rock bodies; 13 – diorites and granodiorites; 14 – microcline granites; 15 – tectonic dislocations; 16 – industrial minerals: a) quartz; b) kyanite; 17 – industrial minerals: a) muscovite; b) garnet. Ore occurrences are indicated by numbers: 1 – quartzites (quartz), 2, 3 – metamorphogenic kyanite ore, 4 – metasomatic kyanite ore with pyrite and graphite mineralization, 5 – metasomatic kyanite ore with pyrite, 6 – metasomatic quartz-muscovite ore with kyanite, 7 – metasomatic kyanite ore, 8 – metasomatic garnet ore with kyanite, staurolite and quartz

и С. А. Бушминым как хизовариты – глубинные аналоги скелей [Глебовиций, Бушмин, 1983]. Среди пород Хизоваарского рудного поля локализованы три типа природных руд (промышленные минералы) – метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический и метасоматический, каждый из которых имеет свои морфогенетические особенности. Они различаются по минеральному, гранулярному составу и характеру сростаний.

Кислотные метасоматиты Хизоваарской структуры по всей площади 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 различной подвижности компонентов и изменения минеральной системы, где большую роль играли процессы природного обогащения.

Хизоваарское месторождение кианитовых руд. Кианит входит в структурно-полиморфную Al_2SiO_5 силлиманитовую группу минералов. Важным его практическим свойством является переход в муллит, относящийся к этой же группе минералов. На образование кианитовых руд доминирующее влияние оказал метаморфизм раннего этапа проявления в условиях гранат-кианит-биотит-ортоклазовой субфации с переходом к ставролит-жедрит-кианитовой и гранат-кианит-биотит-мусковитовой субфации 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 %) формируются значительные скопления кианита. В характере проявления и типе парагенезисов регрессивной стадии отражена специфика условий метаморфизма повышенных давлений, что способствовало проявлению выщелачивания компонентов [Бушмин, 1978]. Кислотные метасоматиты Хизоваары формировались в условиях кварц-кианитовой фации метасоматоза.

Кианитовые руды (рис. 8) Хизоваарского рудного поля относятся к промышленной сырьевой базе высокоглиноземистых пород России [Огородников и др., 2012] (рис. 1 и 7). Для промышленного кианита требуется содержание Al_2O_3 не менее 54 % и SiO_2 не более 42 %, с максимальными значениями по Fe_2O_3 не более 1 %, TiO_2 не более 2 %, а также CaO и MgO не более 0,1 % каждого. Данный объект наиболее подготовлен к его освоению. В настоящее время

месторождения кианита в России не разрабатываются. В карьере Южной линзы производилась опытная добыча кианитовой руды. Руды с игольчатым кианитом составляют 91 % всего объема. Содержание кианита – 10–25 %, кварца – 75–85 %, мусковита – 0,5–1 %. Линзообразное тело имеет длину 950 м при мощности 80–100 м [Хизоваарское..., 1988].

Кианит – перспективное сырье для производства огнеупоров. При сравнительных испытаниях в ВИАМ (Москва) установлено, что керамические формы из карельского кианита для литья турбинных лопаток самолетных и ракетных двигателей после обжига при температуре 1060° обладают достаточной прочностью, превосходя в три раза прочность подобных материалов, где использовался украинский кианит-силлиманит [Демонис и др., 1990]. В настоящее время российские потребители применяют дорогостоящие огнеупоры отечественного производства с использованием электрокорунда, карбида кремния и циркона. В то же время карельский кианит может обеспечить потребности огнеупорной промышленности страны.

Месторождения кианитовых руд в России до сих пор не разрабатывались.

Гранат. Месторождение комплексных гранатовых руд «Высота-181» является примером структуры, состоящей из нескольких доменов различных метаморфических комплексов с наложенным кислотно-щелочным метасоматозом (рис. 1) и отражает многостадийность синтетектонических и метаморфо-метасоматических процессов, ответственных за формирование руд промышленных минералов, важнейшим из которых является гранат. Выделяются комплексные гранат-кианит-кварцевые, гранат-кианит-ставролитовые и кианит-кварцевые типы руд. Комплексность и особенности распространения промышленных минералов являются прямым следствием метасоматических процессов [Никифоров, 2017].

Гранатовый концентрат месторождения «Высота-181» может использоваться для получения шлифовальной шкурки (деревообработка), шлифовального зерна (шлифование деталей кинескопов), фильтрационного зерна (фильтрация и бактерицидная обработка питьевой воды) и в других направлениях. На опытном абразивном заводе в Санкт-Петербурге на основе карельского гранатового продукта была изготовлена шлифовальная шкурка, которую успешно испытали на мебельной фабрике «Ладога».

Предлагается двухэтапный план освоения месторождения. Первый этап – доизучение



а



б

Рис. 8. Морфологические типы кянитовых руд месторождения Южная Линза: а – крупноигльчатый кянит; б – радиально-лучистый кянит

Fig. 8. Morphological types of kyanite ores of the Yuzhnaya Lense deposit: a – elongate thinly-acicular kyanite aggregates; б – radiate-fibrous kyanite

месторождения с организацией опытной добычи. Объем добываемой рудной массы может рассматриваться на уровне 2000–2500 т/год, что обеспечивает выпуск гранатового концентрата на уровне 300 т/год с использованием модульной обогатительной установки. Второй этап – ввод в эксплуатацию обогатительной фабрики в пос. Сосновый производственной мощностью до 50 тыс. т/год по руде [Щипцов и др., 2009]. Руды месторождения выходят на дневную поверхность. Обработка предполагается открытым способом. На территории России эксплуатируемых месторождений граната нет.

Мусковит. Месторождение маложелезистого мелкочешуйчатого мусковита «Межозерное», расположенное в восточной части Хизоваарской структуры (рис. 1), характеризуется последовательным формированием в ходе метасоматического процесса руд кянит-кварцевого, гранат-кянит-кварцевого, кварц-мусковитового и кянит-мусковитового состава.

Руды этого объекта, благодаря низкому содержанию примеси железа и высоким технологическим свойствам мусковита, являются уникальным сырьем для производств различного назначения. Обоснована технология извлечения кварца из этих комплексов. В России пока аналогов нет. Слюда-мусковит относится к тем видам минерального сырья, конъюнктура которого на мировом рынке зависит от научно-технического прогресса в экономике стран и потребителей, а минерально-сырьевая база имеет тенденцию интенсивного развития [Щипцов и др., 2003].

Щелочно-ультраосновная формация

В состав протерозойской щелочно-ультраосновной формации АЗРК входят Еletzозерский и Тикшеозерский массивы (рис. 9).

Еletzозерский массив представляет собой эллипсоидальное в плане интрузивное тело площадью около 100 км², вытянутое в субмеридиональном направлении. Его западное продолжение срезано крупным разломом, так что первоначальные размеры массива были существенно больше. Строение Еletzозерского массива концентрически-зональное, невыдержанное как в плане, так и на глубину. Краевая часть сложена габброидами и комплексными им породами, центральная – нефелиновыми сиенитами (рис. 9). Габбровая часть массива прорывается дайками диабазов, спессартитов, щелочных пегматитов, сиенит-порфиров и бостонитов, концентрирующихся главным образом вокруг сиенитового ядра. Массив прорывает архейские гранито-гнейсы, ТТГ-серии, а также раннепалеопротерозойские микроклиновые и плагиомикроклиновые граниты [Богачев и др., 1963]. Время формирования интрузива составляет 2080 ± 30 млн лет (U-Pb, циркон, SHRIMP-II) [Шарков и др., 2015], т. е. он является древнейшим на сегодняшний день проявлением титаноносного щелочного магматизма на Карельском кратоне.

Бимодальный Еletzозерский комплекс образован двумя главными интрузивными фазами, разделенными внедрением даек долеритов и лампрофиров (преимущественно спессартитов) [Богачев и др., 1963]. Наиболее поздние образования представлены жилами

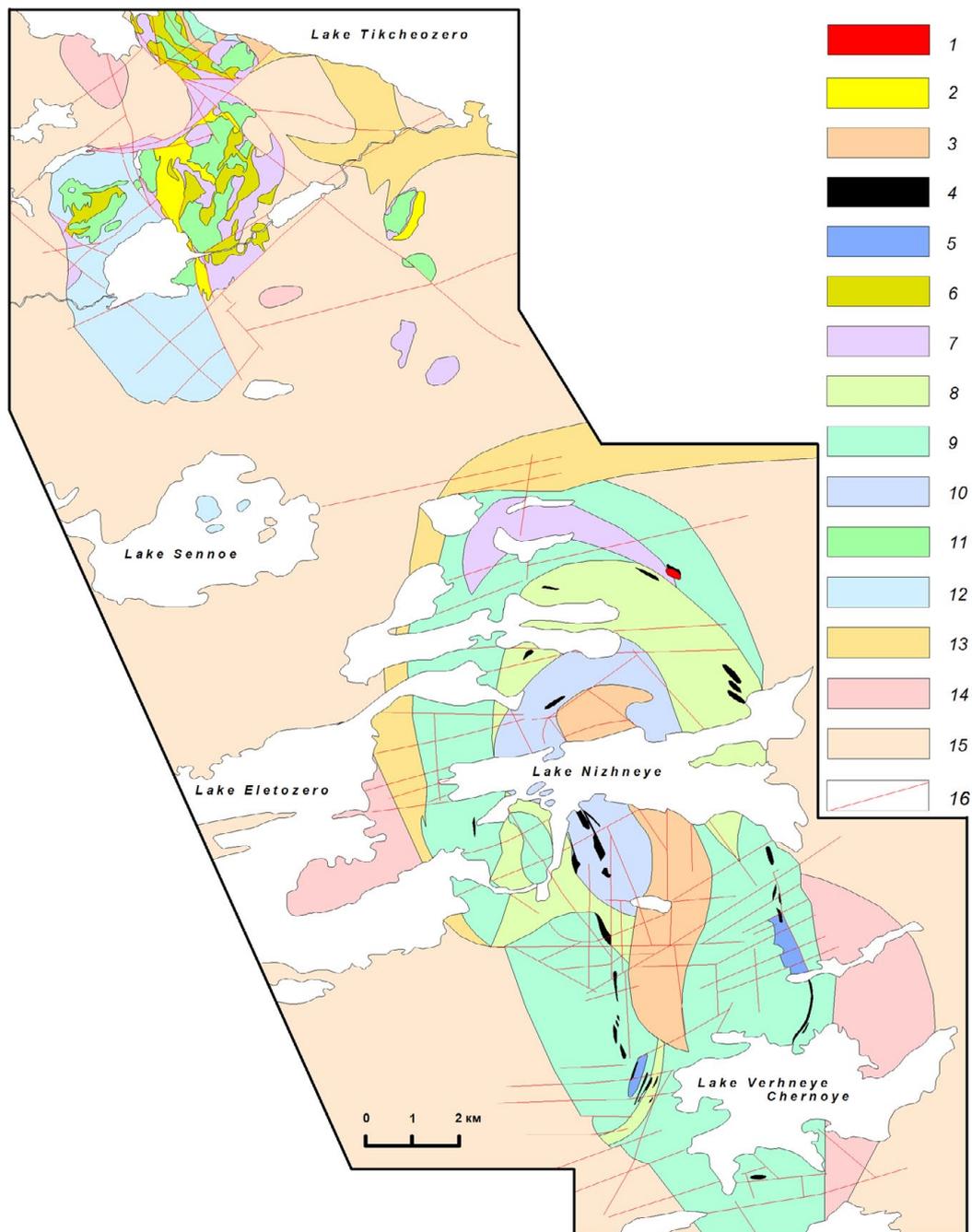


Рис. 9. Схема геологического строения Тикшеозерско-Елетьозерского УЩК. Составители В. В. Щипцов и Н. И. Щипцова, с использованием материалов А. И. Богачева, 1988:

1 – взрывная брекчия; 2 – карбонатиты; 3 – нефелиновые и щелочные сиениты; 4 – ильменит, титаномагнетитовые, магнетитовые руды; 5 – слюдястый перидотит ортоклазовое слюдястое габбро; 6 – уртиты, йолит-уртиты, йолиты, мельтейгиты; 7 – сидеронитовые пироксениты; 8 – среднезернистое полосчатое габбро; 9 – мелко-, средне- и крупнозернистое габбро; 10 – плагиоклазит, лейкократовое габбро, оливинное габбро, перидотит; 11 – пироксениты; 12 – оливинные пироксениты, оливиниты с титаномагнетитами, серпентинизированные оливиниты и серпентины; 13 – биотитовые, биотит-амфиболовые гнейсы и амфиболиты лопия; 14 – плагиомикроклиновый и микроклиновые граниты (палеопротерозой); 15 – граниты, тоналиты, диориты (архей); 16 – тектонические нарушения

Fig. 9. Scheme showing the geological structure of the Tikshezero-Yeletzero UAC. Compiled by V. V. Shchiptsov & N. I. Shchiptsova using A. I. Bogachev's data, 1988:

1 – explosive breccia; 2 – carbonatites; 3 – nepheline and alkaline syenites; 4 – ilmenite, titanomagnetite and magnetite ores; 5 – mica peridotite, orthoclase mica gabbro; 6 – urtites, ijolite-urtite, ijolites, melteigites; 7 – sideronitic pyroxenites; 8 – medium-grained banded gabbro; 9 – fine-, medium-grained and coarse-grained gabbro; 10 – plagioclaseite, leucocratic gabbro, olivine gabbro, peridotite; 11 – pyroxenites; 12 – olivine pyroxenites, olivinites with titanomagnetites, serpentinized olivinites and serpentinites; 13 – Lopian biotite and biotite-amphibole gneisses and amphibolites; 14 – plagiomicrocline and microcline granites (Paleoproterozoic); 15 – granites, tonalites, diorites (Archean); 16 – tectonic dislocations

и эруптивными брекчиями карбонатитов, в которых встречены ксенолиты пород обеих фаз. Для щелочных пород характерна обогащенность Ba, Sr, Nb и присутствие ряда минералов необычного состава: высокобариевых слюд (с содержанием BaO до 11 %) и полевых шпатов (до 32 % BaO), высокониобиевых титанитов (до 6,2 % Nb₂O₅), шпинели с высоким содержанием герцининового минала, титаномагнетита с содержанием V₂O₅ до 1,5 %.

Тикшеозерский массив площадью около 24 км² представляет собой субмеридионально вытянутое чашеобразное тело, разбитое на три крупных блока – Тикшеозерский, Центральный и Шапкоозерский, сложенных пироксенитами, оливинитами, ийолитами, тералитами, щелочными габбро и габброноритами, а также нефелиновыми сиенитами. В средней части Центрального блока находится штокообразное тело карбонатитов. Относительное возрастное соотношение габброноритов с массивом определяется тем, что они секутся карбонатитами, т. е. являются более древними образованиями, чем породы последней его фазы. Возраст первичной кристаллизации бадделеитов и цирконов карбонатитов Тикшеозерского массива – 1999 ± 5 Ма [Corfu et al., 2011].

Массив на различных уровнях проявляет более слабую дифференциацию в сопоставлении с каледонскими ультраосновными-щелочными породами и карбонатитами Кольского полуострова.

Апатит. Апатитоносные карбонатиты площадью около 2 км² относятся к комплексному типу руд. Кальцитовые карбонатиты являются их главной разновидностью. Из других карбонатов в небольших количествах присутствуют минеральные фазы изоморфного ряда доломит-анкерит, к аксессуарным относятся арагонит и анкилит [Сафронова, 1990]. По петрохимическим характеристикам различаются высококальциевые и магниевые-кальциевые карбонатиты.

Форма карбонатитового тела неправильная, в горизонтальном близповерхностном сечении серповидная с извилистыми контурами. Прогнозные ресурсы оцениваются в 900 млн т карбонатитовой руды, около 40 млн т в пересчете на P₂O₅ со средним содержанием 4,3 %; в титан-авгитовых габбро-пироксенитах среднее содержание P₂O₅ составляет 3,5 %.

Вывод о необходимости комплексного освоения Тикшеозерского объекта не может быть совершенно ясным и прозрачным, но все же массив представляется весьма перспективным. Тикшеозерский узел может стать основой

формирования крупного, малоотходного горнопромышленного комплекса в Северной Карелии, выгодного в экономическом отношении, что на практике станет примером формирования эффективной системы недропользования на основе комплексного освоения и использования всей совокупности ресурсов недр. Карбонатное сырье, карбонатная составляющая апатит-карбонатных руд рудопроявления «Карбонатитовое» является основным видом минерального сырья Тикшеозерского массива. С другой стороны, по прогнозам, потребность на внутреннем рынке в апатитовом концентрате будет значительно расти. Если обращаться к апатиту как к товарному продукту, получаемому из тикшеозерских карбонатитов, то этот продукт имеет ряд качественных преимуществ по сравнению с рыночным апатитовым концентратом, выпускаемым ОАО «Апатит». Полученные показатели экономической эффективности проекта свидетельствуют о его инвестиционной привлекательности в настоящих экономических условиях для горнодобывающей промышленности. По масштабам запасов (обеспеченности предприятия сырьевой базой) и качеству сырья (потребительским свойствам) ресурсы оцениваются по группе ожидаемой средней рентабельности

В выполненной ИГ КарНЦ РАН работе дана экономическая оценка строительства цементного завода на базе Тикшеозерского месторождения апатит-карбонатных пород. В целом представлены положительные экономические показатели. Срок окупаемости проекта около 7 лет, уровень рентабельности – примерно 35 процентов, необходимые инвестиции – 400 млн долл. США [Щипцов и др., 2012].

Нефелиновые сиениты и щелочные сиениты. Эти образования известны в строении щелочно-габброидного Елетьозерского массива (Северная Карелия). В результате геологических исследований выделены несколько перспективных участков залегания нефелиновых сиенитов и щелочных сиенитов. Один участок – Северный (оз. Нижнее), где проведены основные предварительные геолого-технологические исследования, другой – Южный, расположенный между Нятоваара и Суриваара с глубиной оценки до 100 м [Минеральное..., 1991].

Залежи Северного участка имеют длину от 750 до 1250 м и ширину от 225 до 500 м. Минеральный состав следующий: главные минералы – микроклин-пертит, альбит, нефелин (в сумме 75–85 %). Прогнозные ресурсы составляют по категории P₁ 9,5 млн т горной массы.

Горная масса обогащается методом электромагнитной сепарации. Выход концентрата составляет 62–75 %. Концентраты делятся на три сорта: 1 сорт – 0,1 % Fe₂O₃, 2 сорт – 0,3 % Fe₂O₃, 3 сорт – 0,8 % Fe₂O₃.

Ильменит. Ильменитовая минерализация отмечается в Еletzозерском щелочно-габбродном комплексе, на Тикшеозерском месторождении апатит-ильменит-титаномагнетитовых руд (Восточный участок). Рудные тела выявлены на трех участках – Суриваара (6 рудных тел), Нятоваара (4) и Межозерный (2). Суммарное содержание ильменита, титаномагнетита и магнетита – от 10–15 до 80 %.

Рудный участок Суриваара Еletzозерского массива является наиболее перспективным. По содержанию TiO₂ титано-магнетит-ильменитовые руды подразделены на три сорта: I сорт – свыше 12 % TiO₂; 2 сорт – 8–12 % TiO₂; 3 сорт – 5–8 % TiO₂. Содержание V₂O₅ – от 0,06 до 0,18 %. Наиболее крупная залежь имеет протяженность 1400 метров при средней мощности 36 метров. Запасы, по данным поисково-разведочных работ 1954–1956 гг., составляют более 60 млн тонн при среднем содержании TiO₂ 8 %. Прогнозные ресурсы до глубины 200 метров составляют 182,5 млн т руды, в т. ч. TiO₂ около 3,5 млн т [Зак, Киселев, 1957].

Достаточно широко распространены проявления редкометалльной и редкоземельной минерализации в щелочных пегматитах Еletzозерского рудного поля, большинство которых приурочены к залежам ильменит-магнетитовых руд (25 жил расположены на участке Суриваара) и имеют протяженность от 110 до 300 м при мощности до 30 м. Содержание Nb₂O₅ – 0,10–0,56 %, ZrO₂ – до 1,0 %, Ta₂O₅ – до 0,015 %, TR – до 0,36 %. Nb₂O₅ оценены по кат. С₂ в 355 т [Минерально-сырьевая..., 2005].

Оливиниты и дуниты. Присутствуют мощные проявления оливинитов, дунитов и оливинового габбро в субщелочных пироксенит-габбровых с карбонатитами и нефелиновыми сиенитами в Тикшеозерском и Еletzозерском массивах. Благодаря отсутствию химически связанной воды они являются наиболее ценным сырьем для производства форстеритовых огнеупоров. Содержание MgO в некоторых оливинсодержащих породах достигает 45 % [Богачев и др., 1963].

Кварцевый порфир. На месторождении Роза-Лампи [Пекки, Разоренова, 1977] установлены два штока лейкократовых кварцевых порфиров, являющихся ценным минеральным сырьем. По результатам предварительной разведки, проведенной в 1969 г., месторождение

имеет следующие параметры: протяженность до 1500 м, мощность до 150–400 м, на глубину прослежено до 70 м. Основной минеральный состав – кварц 35–50 % (включая фенокристы), калиевый полевой шпат 40–50 %, серицит 5–10 %, биотит 1–3 %. Характерными являются вкрапленники голубого опаловидного кварца. Запасы составляют 147 млн т руды (глубина подсчета до 30 м). Выход полевошпатовых концентратов, полученных флотэлектромагнитной сепарацией, составляет 45 %. Содержание основных компонентов в полевошпатовом концентрате следующее: Fe₂O₃ – 0,15 %, Al₂O₃ – 14,4 %, Na₂O – 1,48 %, K₂O – 11,3 %.

Пути использования: высоковольтный электротехнический фарфор, керамические изделия, кислотоупоры и др.

Заключение

Минерагения АЗПК определяется особенностями ее геологического развития в архее – протерозое (2,9–1,7 млрд лет) и распространенностью в ее пределах металлогенически перспективных структурно-вещественных комплексов архейских зеленокаменных поясов, Северонорвежско-Онежского рифта и Беломорского подвижного пояса.

Архейские ЗП арктической зоны относятся к системе «внешних» поясов аккреционного типа Карельской провинции, значительно более высокопродуктивных на золото, чем коллизионные орогены «внутренних» ЗП.

Минерагения Северонорвежско-Онежской рифтогенной системы в пределах арктической зоны определялась главным образом внедрением расслоенных интрузий Олангской группы (Pt, Pd, Au, Cu, Ni), становлением Еletzозерско-Тикшеозерского щелочно-карбонатитового комплекса (Ti, V, P, Nb, TRE) и накоплением обогащенных золотом, платиноидами, ураном и др. металлами углеродсодержащих вулканогенно-осадочных толщ и конгломератов, служивших в дальнейшем базовыми рудными формациями при формировании комплексных золоторудных объектов орогенного мезотермального типа.

К настоящему времени Беломорский подвижный пояс представляется как часть крупного коллизионного орогена с широким распространением систем сдвиговых зон свекофеннского возраста, ответственных за ремобилизацию рудных концентраций базовых рудных формаций и образование золотоносных метасоматитов на всей территории арктической зоны.

Минерально-сырьевой потенциал АЗРК определяется по металлическим полезным ископаемым: комплексными (Mo, Cu, Au, Re, ¹⁸⁷Os) порфирированными месторождениями Лобашской гранитогенной рудной системы, орогенными мезотермальными Au, Au-U, Au-Pd-Ni рудными объектами (Куоляярвинская, Лехтинская структуры, Северо-Карельский зеленокаменный пояс, Беломорский подвижный пояс), комплексным (Ti, V, P, Nb, TRE) оруденением Елетьозерского и Тикшеозерского массивов, Pt-Pd-Au-Cu-Ni проявлениями Олангской группы расслоенных интрузий, редкометалльными пегматитами и иттриевоземельно-скандиевой пиральспитовой минерализацией в беломорских гнейсах.

Важная роль промышленных минералов, таких как высокочистый кварц, мелкочешуйчатый мусковит, гранат, ставролит, ильменит, магнезиальные и глиноземистые комплексы, полевошпатовое сырье (пегматиты, нефелиновые и щелочные сиениты, анортозиты, кварцевые порфиры), карбонатные породы, диатомиты, жемчуг, в экономике минерального сырья имеет достаточно стабильную тенденцию к росту, определяемую мировой конъюнктурой, что способствует раскрытию перспектив для развития и вовлечения различных видов минерального сырья в АЗРК, где имеются благоприятные геологические условия и предпосылки к осуществлению конкретных действий.

Предлагается разработать комплексную Программу по развитию горнопромышленного комплекса АЗРК на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу. Целевая программа должна быть направлена на формирование госзаказа на постановку поисковых и поисково-оценочных работ на золото, платину, редкие металлы, критические и новые промышленные минералы и ее реализацию с привлечением частных инвесторов и госкорпораций.

Шаги к намеченному – сопутствующее проведение мероприятий по внесению соответствующих изменений в нормативно-правовую базу, создание условий для привлечения инвесторов, позиционирование Республики Карелия как участника государственной программы Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации», использование материалов по оценке минерально-сырьевых ресурсов АЗРК к обоснованию проекта по созданию Арктической комплексной геологической экспедиции в пос. Чупа.

Работа выполнена в рамках темы № 210 при финансовой поддержке программы НИР ПФНИ ГАН на период 2013–2020 гг.

Литература

Афанасьева Е. Н., Харламов М. Г., Липнер А. А. и др. Отчет по теме № 14 «Составление прогнозно-металлогенической карты на благороднометалльное оруденение Пана-Куоляярвинского прогиба м-ба 1:200 000» // Фонды ВСЕГЕИ. СПб., 2004.

Ахмедов А. М., Шевченко С. С., Симонов О. Н., Стехин А. И., Олешкевич О. И., Крупеник В. К., Вороняева Л. В. Новые типы проявлений благороднометалльной минерализации в зеленокаменных поясах позднего архея Карело-Кольского региона // Геология и геодинамика архея. СПб.: Центр информ. культуры, 2005. С. 34–38.

Барков А. Ю., Ганнибал Л. Ф., Рюнгенен Г. И., Балашов Ю. А. Датирование цирконов из расслоенного массива Кивакка, Северная Карелия // Методы изотопной геологии: Тезисы докладов Всесоюзной школы-семинара. Звенигород, 1991. С. 21–23.

Безруков В. И. Отчет о результатах общих поисковых работ на золото в центральной и восточной частях Куоляярвинского синклиория в 1984–1989 гг. Фонды ЦКЭ. Апатиты, 1989. 271 с.

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

Богатилов О. А., Самсонов А. В., Носова А. А., Ручьев А. М., Беззубов Г. А. Отчет проекта «Разработка генетических моделей золотого оруденения в раннедокембрийских гранит-зеленокаменных областях как основы для оценки ресурсного потенциала золота Балтийского щита» // Программы Президиума РАН. № 24. 2011.

Богачев В. А., Иваников В. В., Крымский Р. Ш., Иващенко В. И., Беляцкий Б. В., Гольцин Н. А., Сергеев С. А. Изохронный Re-Os возраст молибденитов раннедокембрийских порфирированных месторождений Карелии // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2013. Вып. 2, серия 7. С. 3–20.

Богачев А. И., Заак 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.

Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В., Галямов А. Л., Викентьев И. В., Тарасов Н. Н., Дистлер В. В., Лаломов А. В., Аристов В. В., Мурашов К. Ю., Чижова И. А., Чефранов Р. М. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57, № 6. С. 479–500.

Бушмин С. А., Беляцкий Б. В., Крымский Р. Ш., Глебовицкий В. А., Буйко А. К., Савва Е. В., Сергеев С. А. Изохронный Re-Os возраст золота жильного золото-кварцевого месторождения Майское (Северная Карелия, Балтийский щит) // ДАН. 2013. Т. 448, № 1. С. 76–79.

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

Вольфсон А. А. Геолого-генетические особенности золото-кварцевого месторождения «Майское» (Северная Карелия): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: ИГЕМ РАН, 2004. 28 с.

Геология Карелии / Отв. ред. В. А. Соколов. Л.: Наука, 1987. 231 с.

Гинзбург И. И. Слюда, ее свойства, применение и распространение в России // Материалы для изучения естественных производительных сил России, изд. Комиссии при Рос. акад. наук. Петроград, 1919. № 34. 129 с.

Гинзбург И. И. Полезные ископаемые побережья Кандалакшского залива Белого моря // Петроград. Труды Северной научно-промысловой экспедиции. 1921. Вып. 7. 64 с.

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.

Голубев А. И., Иващенко В. И., Трофимов Н. Н. Рудноформационные типы и перспективы золотосодержащего оруденения Карельского региона // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов: Тр. Всерос. конф. Апатиты: ИГ КНЦ РАН, 2010. С. 19–30.

Граumberг И. С., Додин Д. А., Евдокимов А. Н., Бордуков Ю. К. Минерально-сырьевой потенциал российского Севера – состояние, перспективы и стратегия развития // Минерал. 2002. № 1. С. 6–9.

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

Демонис И. М., Карпович Ю. Ф., Озерова Г. П., Скамницкая С. С., Щипцов В. В. Кианитовые руды месторождения Хизовара – перспективный вид огнеупорного сырья // Фундаментальные науки – народному хозяйству: Сб. статей АН СССР. М.: Наука, 1990. 692 с.

Зак С. И., Киселев Ю. Ф. Отчет о поисково-разведочных работах на Елетьозерском титановом месторождении в 1954–1957 гг. 1957. Фонды КГЭ.

Иванов Н. М., Корсакова М. А., Саморуков Н. М. Отчет по теме «ГДП-200 листов Q-36-XXVII, XXVIII (Шомбозерско-Лехтинская площадь) // ТГФ. СПб., 2010.

Иващенко В. И. Главные рудноформационные типы редкометалльного оруденения Карелии // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, № 2. С. 189–194.

Иващенко В. И., Голубев А. И. Золото и платина Карелии: формационно-генетические типы оруденения и перспективы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 369 с.

Игнатъев Н. А. Отчет о геолого-разведочных работах на месторождении Тербеостров. 1934. СЗТГФ.

Калашников А. О., Яковенчук В. Н., Пахомовский Я. А. и др. Ковдорский фоскорит-карбонатитовый комплекс как крупнейший источник скандия в России // Матер. Юбилейного съезда Российского

минералогического общества «200 лет РМО». Т. 2. СПб: 2017. с. 83–85.

Калинин А. А., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А. Минерализация Se и Te в альбититах и перспективность золотоносности метасоматитов Салла-Куоляярвинской зоны, Северная Карелия // ДАН. 2014. Т. 455, № 1. С. 58–61.

Клюнин С. Ф. Отчет о результатах поисковых работ на благородные металлы с попутными поисками алмазов и других полезных ископаемых в пределах Олангской группы массивов, проведенных в 1987–1993 гг. Мончегорск, 1994. ТГФ.

Кнауф В. В., Кнауф О. В., Скворцов Е. Г., Шарков Е. В., Чистяков А. В. Необычное распределение элементов платиновой группы в мафит-ультрамафитовых породах раннепалеопротерозойского (2.5–2.35 млрд лет) друзитового (коронитового) комплекса Беломорья, Северная Карелия, Россия // Геохимия. 2007. № 3. С. 282–296.

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

Корсакова М. А., Мыскова Т. Н., Иванов Н. М. Комплексы сумийских гранитоидов юго-восточной части северо-карельской зоны // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2011. № 14. С. 57–71.

Кривцов А. И. Прикладная металлогения. М.: Недра, 1989. 288 с.

Леонтьев А. Г., Голованов Ю. Б., Дегтярева Т. А. Составление карты полезных ископаемых Республики Карелия м-ба 1:500 000. Отчет // ТГФ РК. Петрозаводск, 2003. 782 с.

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

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 1 / Под. ред. В. П. Михайлова, В. Н. Аминова. Петрозаводск: Карелия, 2005. 278 с.

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

Минеральное сырье Лоухского района Карельской АССР. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1991. 192 с.

Нерадовский Ю. Н. Морфология и состав золота в кварце из месторождения Майское (Карелия) // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований: Мат-лы всерос. конф. (Москва, 29–31 марта 2010 г.). М., 2010. С. 88–90.

Никифоров А. Г. Факторы контроля комплексных гранатовых руд месторождения «Высота-181» // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 11. С. 43–58. doi: 10.17076/geo651

Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В., Поленов Ю. А., Нерадовский Ю. Н., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Савичев А. Н., Коротеев Д. В. Кианитовые руды России. Екатеринбург: 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., Гершенкоп А. Ш., Коротеев Д. В. Морфогенетические

типы и технология обогащения кианитовых руд. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 310 с.

Опарин В. Г. Жемчужное ожерелье. Петрозаводск: Карелия, 1976. 102 с.

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

Петров О. В., Шевченко С. С., Ахмедов А. М. Новые промышленные типы комплексных руд благородных и цветных металлов в докембрии восточной части Балтийского щита // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерогенез Северо-Запада России: Матер. всерос. конф. Петрозаводск, 2007. С. 292–296.

Протокол заседания государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Роснедра РФ № 2129 от 17.02.2010 г.

Ручьев А. М. Карельский гранат – перспективный источник скандия и редкоземельных металлов // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 11. С. 30–42. doi: 10.17076/гео621

Ручьев А. М. Геологические предпосылки развития рудной сырьевой базы горнодобывающей промышленности в Лоухском районе Республики Карелия // 300 лет учреждения Приказа рудокопных дел в России: Мат-лы междунар. конф. (Петрозаводск, 15–19 июня 2000 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2001. С. 70–78.

Саморуков Н. М., Рундквист И. Н., Боровко И. Н. Оценка перспектив золотого оруденения жильного и прожилково-вкрапленного типа зеленокаменных структур Карело-Кольского региона. Л., 1985. Фонды СЗРГЦ.

Сафонов Ю. Г., Волков А. В., Вольфсон А. А., Генкин А. Д., Крылова Т. Л., Чураев А. В. Золото-кварцевое месторождение Майское (Северная Карелия): геологические и минералогические особенности, вопросы генезиса // Геол. рудн. мест. 2001. № 1. С. 25–40.

Сафронова Г. П. Породообразующие карбонаты и апатит Тикшеозерского массива // Новое в минералогии Карело-Кольского региона. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1990. С. 25–39.

Скамницкая Л. С., Шахнович М. М., Букчина О. В. Структурно-минералогические и технологические особенности кварца слюдяных месторождений Чупино-Лоухского района Карелии // Роль технологической минералогии в получении конечных продуктов передела минерального сырья: сб. науч. статей. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. С. 87–94.

Турченко С. И. Металлогения тектонических структур палеопротерозоя. СПб.: Наука, 2007. 175 с.

Тытык В. М., Фролов П. В. Молибденовое месторождение Лобаш – крупный перспективный объект в Республике Карелия // Труды КарНЦ РАН. 2014. № 1. С. 56–62.

Тытык В. М. Отчет Беломорской партии о результатах предварительной разведки месторождения Лобаш, проведенной в 1988–1991 гг. Петрозаводск, 1991. Фонды КГЭ.

Тытык В. М., Харитоновна М. Ф., Забелин В. Г. Отчет о результатах поисковых и поисково-оценочных работ на золоторудном месторождении Лобаш-1, проведенных в 1992–1997 гг. Петрозаводск: 1998. 222 с. Росгеолфонд. КТФГИ.

Указ Президента Российской Федерации от 27.06.2017 г. № 287.

Хизоваарское кианитовое поле (Северная Карелия). Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1988. 105 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.

Шевченко С. С., Ахмедов А. М., Крупеник В. А., Свешникова К. Ю. Благороднометалльные метасоматиты позднего архея Чупино-Лоухского фрагмента Беломорской подвижной зоны // Регион. геолог. и металлогения. 2009. № 37. С. 106–120.

Щипанский А. А., Бабарина И. И., Крылов К. А., Самсонов А. В., Богина М. М., Бибикина Е. В., Слабунов А. И. Древнейшие офиолиты на Земле: позд-неархейский супрасубдукционный комплекс Ирриногорской структуры Северокарельского зеленокаменного пояса // ДАН. 2001. Т. 377, № 3. С. 376–380.

Щипанский А. А., Самсонов А. В., Богина М. М., Слабунов А. И., Бибикина Е. В. Высокомагнезиальные, низкотитанистые кварцевые амфиболиты Хизоваарского зеленокаменного пояса Северной Карелии – архейские метаморфизованные аналоги бонитов // ДАН. 1999. Т. 365, № 6. С. 817–820.

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. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. Вып. 12. С. 159–170.

Щипцов В. В., Бубнова Т. П., Скамницкая Л. С., Гаранжа А. В., Ручьев А. М. Гранатовые руды Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. 208 с.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Гаранжа А. В., Данилевская Л. А., Савицкая А. И., Букчина О. В. Геолого-технологическая характеристика крупного проявления анортозитов Котозерского участка (Северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. Вып. 7. С. 151–162.

Щипцов В. В., Скамницкая Л. С., Бубнова Т. П., Данилевская Л. А., Родионов В. С. Мусковитовые кварциты Карелии – новый промышленный тип слюдяного сырья // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. Вып. 6. С. 67–77.

Amelin Yu. V., Heaman L. M., Semenov V. S. U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the timing and duration of Paleoproterozoic continental rifting // Precambrian Research. 1995. Vol. 75. P. 31–46.

Corfu F., Bayanova T., Shchiptsov V., Frantz N. U-Pb ID- TIMS age of the Tikshozero carbonatite: expression of the 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia // Cent. Eur. J. Geosci. 2011. Vol. 3, no. 3. P. 302–308.

Daly J. S., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse M. J. The Lapland – Kola orogen:

Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere // Gee D. G. & Stephenson R. A. (eds). *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs, 32, 2006. 579–598.

Glebovitsky V. A., Semenov V. S., Belyatsky B. V., Kopev-Dvornikov E. V., Pchelintseva N. F., Kireev B. S., Koltson A. B. The structure of the Lukkulaivaara intrusion, Oulanka Group, Northern Karelia: petrological implications // *Canad. Mineralogist*. 2001. Vol. 39. P. 607–637.

Kerrick R., Goldfarb R., Groves D., Garwin S., Jia Y. The characteristics, origin, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // *Science in China (Series D)*. 2000. P. 1–66.

Leahy K., Barnicoat A. C., Foster R. P., Lawrence S. R., Napier R. W. Geodynamic processes that control the global distribution of giant gold deposits // McDonald I., Boyce A. J., Butler I. B., Herrington R. J., Polya D. A. (eds). *Mineral Deposits and Earth Evolution*. Geological Society, London. Special Publications. 2005. Vol. 248. P. 119–132.

Pankka H. S., Vanhanen E. J. Aulakogen related epigenetic Au-Co-U deposits in northeastern Finland // *Geol. Surv. of Finland. Current Research*. 1988. Espoo. 1989. P. 91–94.

Поступила в редакцию 05.02.2018

References

Afnas'eva E. N., Kharlamov M. G., Lipner A. A. et al. Otchet po teme No. 14 Sostavlenie prognozno-metallogenicheskoi karty na blagorodnometall'noe orudnenie Pana-Kuolajarvinskogo progiba m-ba 1:200 000 [A forecast metallogenic map of noble metals mineralization of the Pana-Kuolajarvi downfold. Scale 1:200 000. A report on the theme No. 14.]. *Fondy VSEGEI* [Fund FSBI A. P. Karpinsky Russ. Geol. Res. Inst.]. St. Petersburg, 2004.

Akhmedov A. M., Shevchenko S. S., Simonov O. N., Stekhin A. I., Oleshkevich O. I., Krupenik V. K., Voronyayeva L. V. Novye tipy proyavlenii blagorodnometall'noi mineralizatsii v zelenokamennykh poyasakh pozdnego arkheya Karelo-Kol'skogo regiona [New types of noble metals mineralization occurrences in the greenstone belts of the Archean of the Karelia-Kola region]. *Geologiya i geodinamika arkheya* [Geol. Geodyn. Archean]. St. Petersburg: Tsentr informatsionnoi kul'tury, 2005. P. 34–38.

Barkov A. Yu., Gannibal L. F., Ryungenen G. I., Balashov Yu. A. Datirovanie tsirkonov iz rassloennogo massiva Kivakka, Severnaya Kareliya [Dating of zircons from Kivakka layered massif, Northern Karelia]. *Metody izotopnoi geologii. Tezisy dokladov Vsesoyuznoi shkoly-seminara* [Methods Isotop. Geol. Abs. of All-Soviet Union School Seminar]. Zvenigorod, 1991. P. 21–23.

Bezrukov V. I. Otchet o rezul'tatakh obshchikh poiskovykh rabot na zoloto v tsentral'noi i vostochnoi chastyakh Kuolajarvinskogo sinklinoriya v 1984–1989 gg. [General prospecting for gold in the central and eastern parts of the Kuolajarvi synclinorium in 1984–1989: a report]. *Fondy TsKE* [Fund Central Kola Exp.]. Apatity, 1989. 271 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 [Hizovaara structure of the Northern Karelia greenstone belt as accretionary island arc of the Late Archean: isotopic, geochronological, and petrological data]. *Petrologiya* [Petrology]. 2003. Vol. 11, no. 3. P. 289–320.

Bogatikov O. A., Samsonov A. V., Nosova A. A., Ruch'ev A. M., Bezzubov G. A. Otchet proekta

Razrabotka geneticheskikh modelei zolotogo orudneniya v rannedokembriiskikh granit-zelenokamennykh oblastyakh kak osnovy dlya otsenki resursnogo potentsiala zolota Baltiiskogo shchita [Genetic models of gold mineralization in the Early Archean granite-greenstone areas as a basis for assessing gold potential of the Baltic Shield: a report on the project]. *Programmy Prezidiuma RAN* [Progr. Presidium RAS]. 2011. No. 24.

Bogachev V. A., Ivanikov V. V., Krymskii R. Sh., Ivashchenko V. I., Belyatskii B. V., Gol'tsin N. A., Sergeev S. A. Izokhronnyi Re-Os vozrast molibdenitov rannedokembriiskikh porfirovykh mestorozhdenii Karelii [Re – Os molybdenite isochron age for Early Precambrian porphyry deposits in Karelia]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Vestnik SPbSU]. 2013. Iss. 2, ser. 7. P. 3–20.

Bogachev A. I., Zaak S. I., Safronova G. P., Inina K. A. Geologiya i petrologiya Elet'ozerskogo massiva gabbroidnykh porod Karelii: geologiya, petrografiya, petrologiya, metallogeniya [Geology and petrology of the Yeletozero massif of gabbroid rocks in Karelia: geology, petrography, petrology, metallogeny]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1963. 159 p.

Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V., Galyamov A. L., Vikent'ev I. V., Tarasov N. N., Distler V. V., Lalomov A. V., Aristov V. V., Murashov K. Yu., Chizhova I. A., Chefranov R. M. Mestorozhdeniya strategicheskikh metallov Arkticheskoi zony [Strategic metals deposits in the Arctic zone]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geol. Ore Deposits]. 2015. Vol. 57, no. 6. P. 479–500.

Bushmin S. A., Belyatskii B. V., Krymskii R. Sh., Glebovitskii V. A., Buiko A. K., Savva E. V., Sergeev S. A. Izokhronnyi Re-Os vozrast zolota zhil'nogo zoloto-kvartsevogo mestorozhdeniya Maiskoe Severnaya Kareliya, Baltiiskii shchit [Isochron Re-Os age of gold from Mayskoe gold quartz vein deposit (Northern Karelia, Baltic Shield)]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2013. Vol. 448, no. 1. P. 76–79.

Bushmin S. A. Metasomatity mestorozhdeniya Khizovara (Severnaya Kareliya) [Metasomatites of the Hizovaara deposit (Northern Karelia)]. *Izv. AN SSSR. Ser. Geologicheskaya* [Bull. of the Acad. of Sciences of the USSR. Geophys. Ser.]. 1978. No. 7. P. 127–138.

Danilevskaya L. A., Skamnitskaya L. S., Shchiptsov V. V. Kvarcsevye syr'e Karelii [Quartz raw material in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. 226 p.

Demonis I. M., Karpovich Yu. F., Ozerova G. P., Skamnitskaya S. S., Shchiptsov V. V. Kianitovye rudy mestorozhdeniya Khizovaara – perspektivnyi vid ogneupornogo syr'ya [Kyanite ores of the Hizovaara deposit as a perspective type of refractory materials]. *Fundamental'nye nauki – narodnomu khozyaistvu*: Sb. statei AN SSSR [Fund. Sciences for National Ec.]. Moscow: Nauka, 1990. 692 p.

Geologiya Karelii [Geology of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1987. 231 p.

Ginzburg I. I. Slyuda, ee svoistva, primenenie i rasprostranenie v Rossii [Mica, its properties, application, and distribution in Russia]. *Materialy dlya izucheniya estestvennykh proizvoditel'nykh sil Rossii, izdavaemye Komissiei pri Ros. akad. nauk* [Mat. for Studying Natural Prod. Forces in Russia Published by the Commission of the Russ. Acad. of Sciences]. Petrograd, 1919. No. 34. 129 p.

Ginzburg I. I. Poleznye iskopaemye poberezh'ya Kandalakshskogo zaliva Belogo morya [Mineral resources of the Kandalaksha Bay coast of the White Sea]. *Trudy Severnoi nauchno-promyslovoi ekspeditsii* [Proceed. of the Northern Scientific and Industrial Exped.]. 1921. Iss. 7. 64 p.

Glebovitskii V. A. Problemy evolyutsii metamorficheskikh protsessov v podvizhnykh oblastiakh [Issues of metamorphic processes evolution in mobile zones]. Leningrad: Nauka, 1973. 127 p.

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

Golubev A. I., Ivashchenko V. I., Trofimov N. N. Rudnoformatsionnye tipy i perspektivy zolotosoderzhashchego orudneniya Karel'skogo regiona [Ore-forming types and prospects of gold-bearing mineralization of the Karelian craton]. *Zoloto Kol'skogo poluostrova i sopredel'nykh regionov*: Tr. Vseros. konf. [Gold of the Kola Peninsula and Adjacent Territories: Proceed. All-Russ. Conf.]. Apatity: IG KNTs RAN, 2010. P. 19–30.

Gramberg I. S., Dodin D. A., Evdokimov A. N., Borodukov Yu. K. Mineral'no-syr'evoi potentsial rossiiskogo Severa – sostoyanie, perspektivy i strategiya razvitiya [Mineral and raw materials potential of the Russian North: state, prospects, and development strategy]. *Mineral* [Mineral]. 2002. No. 1. P. 6–9.

Ivanov N. M., Korsakova M. A., Samorukov N. M. Otchet po teme GDP-200 listov Q-36-XXVII, XXVIII Shombozersko-Lekhtinskaya ploshchad' [Report on the GDP-200 additional site exploration. Sheets Q-36-XXVII, XXVIII. The Shombozero-Lekhta area] TGF. St. Petersburg, 2010.

Ivashchenko V. I. Glavnye rudnoformatsionnye tipy redkometal'nogo orudneniya Karelii [Main ore-forming types of rare-metal mineralization in Karelia]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geol. Ore Deposits]. 2016. Vol. 58, no. 2. P. 189–194.

Ivashchenko V. I., Golubev A. I. Zoloto i platina Karelii: formatsionno-geneticheskie tipy orudneniya i perspektivy [Gold and platinum of Karelia: formation and genetic types of mineralization and prospects]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2011. 369 p.

Ignat'ev N. A. Otchet o geologorazvedochnykh rabotakh na mestorozhdenii Terbeostrov. 1934 [Report on geological prospecting at the Terbeostrov deposit. 1934]. SZTGF.

Kalinin A. A., Savchenko E. E., Selivanova E. A. Mineralizatsiya Se i Te v al'bitakh i perspektivy zolotonosnosti metasomatitov Salla-Kuolarvinskoi zony, Severnaya Kareliya [Se and Te mineralization in albitites and prospects of the metasomatites for Au, Salla-Kuolarvi Belt, Northern Karelia]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2014. Vol. 455, no. 1. P. 58–61.

Khizovaarskoe kianitovoe pole, Severnaya Kareliya [Hizovaara kyanite field, Northern Karelia]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1988. 105 p.

Klyunin S. F. Otchet o rezul'tatakh poiskovykh rabot na blagorodnye metally s poputnymi poiskami almazov i drugikh poleznykh iskopaemykh v predelakh Olangskoi gruppy massivov, provedennykh v 1987–1993 gg. [Noble metals prospecting involving the search for diamond and other mineral resources within the Olanga massives group in 1987–1993: a report]. Monchegorsk, 1994. TGF.

Knauf V. V., Knauf O. V., Skvortsov E. G., Sharikov E. V., Chistyakov A. V. Neobychnoe raspredelenie elementov platinovoi gruppy v mafit-ul'tramafitovykh porodakh rannepaleoproterozoiskogo (2.5–2.35 mlrd let) druzitovogo (koronitovogo) kompleksa Belomor'ya, Severnaya Kareliya, Rossiya [Unusual PGE distribution in the mafic – ultramafic rocks of the Early Paleoproterozoic (2.5–2.35 Ga) drusite (coronite) complex of the Belomorian Region, Northern Karelia, Russia]. *Geokhimiya* [Geochemistry Int.]. 2007. No. 3. P. 282–296.

Kozhevnikov V. N. Arkheiskie zelenokamennye poyasa Karel'skogo kratona kak akkretsiionnye orogeny [Archean greenstone belts of the Karelian craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. 223 p.

Korsakova M. A., Myskova T. N., Ivanov N. M. Kompleksy sumiiskikh granitoidov yugo-vostochnoi chasti severo-karel'skoi zony [Sumian granitoid complexes in the southeastern North Karelian zone]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. Mineral Res. Karelia]. 2011. No. 14. P. 57–71.

Krivtsov A. I. Prikladnaya metallogeniya [Applied metallogeny]. Moscow: Nedra, 1989. 288 p.

Leont'ev A. G., Golovanov Yu. B., Degtyareva T. A. Sostavlenie karty poleznykh iskopaemykh Respubliki Kareliya m-ba 1:500 000. Otchet [Composition of a map of mineral resources of the Republic of Karelia. Scale 1:500 000. A report]. TGF RK. Petrozavodsk, 2003. 782 c.

Malov N. D., Shchiptsov V. V. Krizis slyudyanoi otrasli Belomorskoj pegmatitovoi provintsii i perspektiva ego preodoleniya [Crisis in mica production industry of the Belomorskaya pegmatite province and perspective of its overcoming]. *Zapiski Gornogo instituta* [J. Mining Inst.]. 2016. Vol. 218. P. 172–178.

Mineral'noe syr'e Loukhskogo raiona Karel'skoi ASSR [Raw materials of the Loukhi District of the Karelian ASSR]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1991. 192 p.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw material base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya, 2005. B. 1. 278 p.

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

Neradovskii Yu. N. Morfologiya i sostav zolota v kvar-tse iz mestorozhdeniya Maiskoe (Kareliya) [Morphology and gold composition in the quartz from the Maiskoye deposit (Karelia)]. *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsii, usloviya obrazovaniya mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovaniy*: Materialy Vseros. konf. Moskva, 29–31 marta 2010 g. [Native Gold: Typomorphism of Mineral Associations, Deposit Formation Conditions, Applied Research: Proceed. All-Russ. Conf., Moscow, March 29–31, 2010]. Moscow, 2010. P. 88–90.

Nikiforov A. G. Faktory kontrolya kompleksnykh granatovykh rud mestorozhdeniya Vysota-181 [Complex garnet ore control factors for the Vysota-181 deposit]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 11. P. 43–58. doi: 10.17076/geo651

Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Voitekhovskii Yu. L., Shchiptsov V. V., Polenov Yu. A., Neradovskii Yu. N., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P., Savichev A. N., Koroteev D. V. Kianitovye rudy Rossii [Kyanite ores of Russia]. Ekaterinburg: UrO RAN, 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 kianitovykh rud [Morphogenetic types and a technology for concentrating kyanite ores]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2013. 310 p.

Oparin V. G. Zhemchuzhnoe ozherel'e [Pearl necklace]. Petrozavodsk: Kareliya, 1976. 102 p.

Pekki A. S., Razorenova V. I. Mestorozhdeniya polevoshpatovogo syr'ya Karelii [Feldspathic deposits in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1977. 152 p.

Petrov O. V., Shevchenko S. S., Akhmedov A. M. Novye promyshlennye tipy kompleksnykh rud blagorodnykh i tsvetnykh metallov v dokembrii vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita [New industrial types of complex ores of noble and nonferrous metals in the Precambrian eastern part of the Baltic Shield]. *Geodinamika, magmatizm, sedimentogenez i minerageniya Severo-Zapada Rossii*: Mater. vseros. konf. [Geodynamics, Magmatism, Sedimentogenesis, and Minerageny of the North-West of Russia: Proceed. All-Russ. Conf.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 292–296.

Protokol zasedaniya gosudarstvennoi komissii po zapasam poleznykh iskopaemykh Rosnedra RF No. 2129 ot 17.02.2010 g. [Minutes of meeting of the State Commission on Mineral Resources, Federal Agency for Subsoil Usage of the RF, No. 2129 dated 17.02.2010].

Ruch'ev A. M. Karel'skii granat – perspektivnyi istochnik skandiya i redkozemel'nykh metallov [Karelian garnet as a promising source of scandium and rare-earth metals]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 11. P. 30–42. doi: 10.17076/geo621

Ruch'ev A. M. Geologicheskie predposylki razvitiya rudnoi syr'evoi bazy gornodobyvayushchei promyshlennosti v Loukhskom raione Respubliki Kareliya [Geological preconditions for the development of the ores raw material

basis of the Loukhi district mining in the Republic of Karelia]. *300 let uchrezhdeniya Prikaza rudokopnykh del v Rossii*: Materialy mezhdunarodnoi konferentsii (Petrozavodsk, 15–19 iyunya 2000 g.) [300th Anniv. of the Chamber of Mines in Russia: Proceed. Int. Conf., June 15–19, 2000]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. P. 70–78.

Samorukov N. M., Rundkvist I. N., Borovko I. N. Otsenka perspektiv zolotogo orudneniya zhil'nogo i prozhilkovo-vkraplennogo tipa zelenokamennykh struktur Karelo-Kol'skogo regiona [Assessment of the gold mineralization potential of vein and stringer-porphyry types in the Karelia-Kola region]. Leningrad, 1985. Fondy SZRGTS.

Safonov Yu. G., Volkov A. V., Vol'fson A. A., Genkin A. D., Krylova T. L., Churaev A. V. Zoloto-kvartsevoe mestorozhdenie Maiskoe (Severnaya Kareliya): geologicheskie i mineralogicheskie osobennosti, voprosy genezisa [Maiskoye gold quartz deposit (Northern Karelia): geological and mineralogical characteristics, genesis problems]. *Geol. rudn. mest.* [Geol. Ore Deposits]. 2001. No. 1. P. 25–40.

Safronova G. P. Porodoobrazuyushchie karbonaty i apatit Tiksheozerskogo massiva [Rock-forming carbonates and apatite of the Tiksheozero massif]. *Novoe v mineralogii Karelo-Kol'skogo regiona* [New in Mineralogy of the Karelia-Kola Region]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1990. P. 25–39.

Sharkov E. V., Belyatskii B. V., Bogina M. M., Chistyakov A. V., Shchiptsov V. V., Antonov A. V., Lepekhina E. N. Kristallogenezis i vozrast tsirkona iz shchelochnykh i osnovnykh porod Elet'ozerskogo magmaticheskogo kompleksa, Severnaya Kareliya [Genesis and age of zircon from alkali and mafic rocks of the Yeltozero Complex, North Karelia]. *Petrologiya* [Petrology]. 2015. Vol. 23, no. 3. P. 285–307.

Shevchenko S. S., Akhmedov A. M., Krupenik V. A., Sveshnikova K. Yu. Blagorodnometall'nye metasomatity pozdnego arkheya Chupino-Loukhskogo fragmenta Belomorskoj podvizhnoi zony [Late Archean noble-metal metasomatites of the Chupa-Loukhi fragment of the White Sea mobile zone (Northern Karelia)]. *Region. geolog. i metallogeniya* [Region. Geol. Metallogeny]. 2009. No. 37. P. 106–120.

Shchipanskii A. A., Babarina I. I., Krylov K. A., Samsonov A. V., Bogina M. M., Bibikova E. V., Slabunov A. I. Drevneishie ofiolity na Zemle: pozdnearkheiskii suprasubduktivnyy kompleks Irinogorskoj struktury Severokarel'skogo zelenokamennogo poyasa [The oldest ophiolites: the Late Archean suprasubduction zone complex of the Iringora structure, North Karelian greenstone belt]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 2001. Vol. 377, no. 3. P. 376–380.

Shchipanskii A. A., Samsonov A. V., Bogina M. M., Slabunov A. I., Bibikova E. V. Vysokomagnezial'nye, nizkositanisty kvartsevye amfibolity Khizovaarskogo zelenokamennogo poyasa Severnoi Karelii – arkheiskie metamorfizovannye analogi boninitov [High-Mg, low-Ti quartz amphibolites of the Hizovaara greenstone belt, Northern Karelia: Archean metamorphosed boninites]. *DAN* [Dokl. Earth Sciences]. 1999. Vol. 365, no. 6. P. 817–820.

Shchiptsov V. V., Bubnova T. P., Garanzha A. V., Skamnitskaya L. S., Shchiptsova N. I. Geologo-tekh-

nologicheskaya i ekonomicheskaya otsenka resursnogo potentsiala karbonatitov Tikshezerskogo massiva (formatsiya ul'traosnovnykh-shchelochnykh porod i karbonatitov) [Geological, technological, and economic assessment of carbonate resources potential of the Tikshezero massif (ultrabasic alkaline rocks and carbonate formation)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. Mineral Res. Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. Iss. 12. P. 159–170.

Shchiptsov V. V., Bubnova T. P., Skamnitskaya L. S., Garanzha A. V., Ruch'ev A. M. Granatovye rudy Karelii [Garnet ores of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2009. 208 p.

Shchiptsov V. V., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P., Garanzha A. V., Danilevskaya L. A., Savitskaya A. I., Bukchina O. V. Geologo-tekhnologicheskaya kharakteristika krupnogo proyavleniya anortozitov Kotozerskogo uchastka, Severnaya Kareliya [Geological and technological description of a big anorthosite occurrence of the Kotkozero area, Northern Karelia]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. Mineral Res. Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. Iss. 7. P. 151–162.

Shchiptsov V. V., Skamnitskaya L. S., Bubnova T. P., Danilevskaya L. A., Rodionov V. S. Muskovitovye kvartcity Karelii – novyi promyshlennyi tip slyudyanogo syr'ya [Muscovite quartzites of Karelia as a new industrial type of mica raw material]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geol. Mineral Res. Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. Iss. 6. P. 67–77.

Skamnitskaya L. S., Shakhnovich M. M., Bukchina O. V. Strukturno-mineralogicheskie i tekhnologicheskie osobennosti kvartsa slyudyanykh mestorozhdenii Chupino-Loukhskogo raiona Karelii [Structural-mineralogical and technological features of mica deposits quartz from the Chupa-Loukhi District of Karelia]. *Rol' tekhnologicheskoi mineralogii v poluchenii konechnykh produktov peredela mineral'nogo syr'ya: sb. nauch. statei* [Role of Tech. Mineral. in Obtaining the End Product of Raw Mineral Treatment: Coll. Papers]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2016. P. 87–94.

Turchenko S. I. Metallogeniya tektonicheskikh struktur paleoproterozoya [Metallogeny of the Palaeoproterozoic tectonic structures]. St. Petersburg: Nauka, 2007. 175 p.

Tytyk V. M., Frolov P. V. Molibdenovoe mestorozhdenie Lobash – krupnyi perspektivnyi ob"ekt v Respublike Kareliya [Lobash molybdenum deposit: a big promising economic deposit in the Republic of Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2014. No. 1. P. 56–62.

Tytyk V. M. Otchet Belomorskoii partii o rezul'tatakh predvaritel'noi razvedki mestorozhdeniya Lobash, provedennoi v 1988–1991 gg. [A report of the White Sea Party on the results of the Lobash deposit preliminary prospecting in 1988–1991]. *Fondy KGE* [Kar. Geol. Expedition Archive]. Petrozavodsk, 1991.

Tytyk V. M., Kharitonova M. F., Zabelin V. G. Otchet o rezul'tatakh poiskovykh i poiskovo-otsenochnykh rabot

na zolotorudnom mestorozhdenii Lobash-1, provedennykh v 1992–1997 gg. [Prospecting and prospect evaluation survey at the Lobash-1 gold ore deposit in 1992–1997: a report]. *Rosgeolfond. KTFGI* [Russ. Federal Geol. Fund. KTFGI (the Karelian Branch of the Territorial Fund of Geol. Information)]. Petrozavodsk, 1998. 222 p.

Ukaz Prezidenta Rossiiskoi Federatsii ot 27.06.2017 g. No. 287 [The Edict of the President of the Russian Federation No. 287 dated 27.06.2017]

Vol'fon A. A. Geologo-geneticheskie osobennosti zoloto-kvartsevogo mestorozhdeniya Maiskoe (Severnaya Kareliya) [Geological and genetic features of the Maiskoye gold quartz deposit, Northern Karelia]: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow: IGEM RAN, 2004. 28 p.

Zak S. I., Kiselev Yu. F. Otchet o poiskovo-razvedochnykh rabotakh na Elet'ozerskom titanovom mestorozhdenii v 1954–1957 gg. [Prospecting at the Yeletozero titanium deposit in 1954–1957: a report]. *Fondy KGE* [Kar. Geol. Expedition Archive]. 1957.

Amelin Yu. V., Heaman L. M., Semenov V. S. U-Pb geochronology of layered mafic intrusions in the eastern Baltic Shield: implications for the timing and duration of Paleoproterozoic continental rifting. *Precambrian Research*. 1995. Vol. 75. P. 31–46.

Corfu F., Bayanova T., Shchiptsov V., Frantz N. U-Pb ID-TIMS age of the Tikshozero carbonate: expression of the 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia. *Cent. Eur. J. Geosci.* 2011. Vol. 3, no. 3. P. 302–308.

Daly J. S., Balagansky V. V., Timmerman M. J., Whitehouse M. J. The Lapland – Kola orogen: Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere. *European Lithosphere Dynamics*. Geological Society, London, Memoirs, 32. 2006. P. 579–598.

Glebovitsky V. A., Semenov V. S., Belyatsky B. V., Kopev-Dvornikov E. V., Pchelintseva N. F., Kireev B. S., Koltson A. B. The structure of the Lukkulaivaara intrusion, Oulanka Group, Northern Karelia: petrological implications. *Canad. Mineralogist*. 2001. Vol. 39. P. 607–637.

Kerrick R., Goldfarb R., Groves D., Garwin S., Jia Y. The characteristics, origin, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic province. *Science in China (Series D)*. 2000. P. 1–66.

Leahy K., Barnicoat A. C., Foster R. P., Lawrence S. R., Napier R. W. Geodynamic processes that control the global distribution of giant gold deposits. *Mineral Deposits and Earth Evolution*. Geological Society, London. Special Publications. 2005. Vol. 248. P. 119–132.

Pankka H. S., Vanhanen E. J. Aulakogen related epigenetic Au-Co-U deposits in northeastern Finland. *Geol. Surv. of Finland. Current Research*. 1988. Espoo. 1989. P. 91–94.

Received February 05, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щипцов Владимир Владимирович

зав. отделом минерального сырья, д. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский
научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

профессор каф. наук о Земле и геотехнологий
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: shchipts@krc.karelia.ru

Иващенко Василий Иванович

ведущий научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН,
Федеральный исследовательский центр «Карельский
научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ivashche@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Shchiptsov, Vladimir

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Petrozavodsk State University
33 Lenin St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: shchipts@krc.karelia.ru

Ivashchenko, Vasily

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