

Минерагения и минерально-сырьевой потенциал Карельской Арктики

Приведены систематизированные сведения по твердым полезным ископаемым Лоухского, Кемского и Беломорского районов Республики Карелия, включенных в Арктическую зону РФ указом Президента РФ от 27 июня 2017 г. Рассматривается геологическая и минерагеническая специфика этой территории. Охарактеризована минерально-сырьевая база Карельской Арктики, включающая металлические (Mo, Cu, Au, Ag, Ni, Pt, Pd, U, редкие металлы) и неметаллические полезные ископаемые (алмазы, апатит, гранат, графит, ильменит, карбонатные породы, кварц, полевошпатовое сырье, кианит, мусковит, оливиниты, дуниты и др.). Обосновываются перспективы промышленного освоения различных видов минерального сырья в арктических районах Карелии.

Ключевые слова: *Фенноскандинавский щит, докембрий, Арктическая зона Республики Карелия, минерально-сырьевой потенциал, минерагения, благородные металлы, промышленные минералы.*

V. I. IVASHCHENKO, V. V. SHCHIPTSOV (IG KarRC RAS)

Minerageny, mineral and resource potential of the Karelian Arctic

Systematized evidence for hard useful minerals in the Louhi, Kem and Belomorsk districts of the Republic of Karelia, included into the Arctic zone of the Russian Federation by RF President's Decree of 27 June, 2017, are reported. The geological and mineragenic characteristics of this territory are discussed. Arctic Karelia's mineral potential, which comprises metallic (Mo, Cu, Au, Ag, Ni, Pt, Pd, U and rare metals) and nonmetallic useful minerals (diamond, apatite, garnet, graphite, ilmenite, carbonate rocks, quartz, feldspar, kyanite, muscovite, olivinite, dunit, etc.) are described. Arguments in favour of the industrial production of various types of minerals in Arctic Karelia are presented.

Keywords: *Fennoscandian Shield, Precambrian, Arctic zone of the Republic of Karelia, mineral and resource potential, minerageny, noble metals, industrial minerals.*

Введение. Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) – регион особых геополитических, экономических, оборонных, научных и социально-этнических интересов. Помимо уникальных ресурсов нефтегазового сырья, в нем сосредоточено около 10 % активных мировых запасов никеля, 19 % металлов платиновой группы (МПГ), 10 % титана, более 3 % цинка, кобальта, золота, серебра, редкоземельных элементов и др. [3]. В силу суровых климатических условий и труднодоступности большая часть территории Российской Арктики остается еще слабоизученной. В этой связи выгодно отличаются территории Лоухского, Кемского и Беломорского районов Республики Карелия (РК), включенные в состав АЗРФ указом Президента Российской Федерации от 27.06.2017 № 287.

Арктическая зона Республики Карелии (АЗРК) имеет выход к побережью Белого моря и соответственно к водным транспортным артериям, связывающим Северный Ледовитый океан с Балтийским, Каспийским и Черным морями. На суше ее территорию в меридиональном направлении пересекают железнодорожная и автомобильная магистрали федерального значения.

По историческим сведениям, освоение «подземных кладовых» АЗРФ начиналось с арктических территорий Карелии. В Западном Беломорье экономически значимый промысел мусковита зародился не позднее X–XII вв. и до начала XIX обеспечивал как внутренний, так и внешний рынки. Геологическим исследованиям и горному промыслу уже

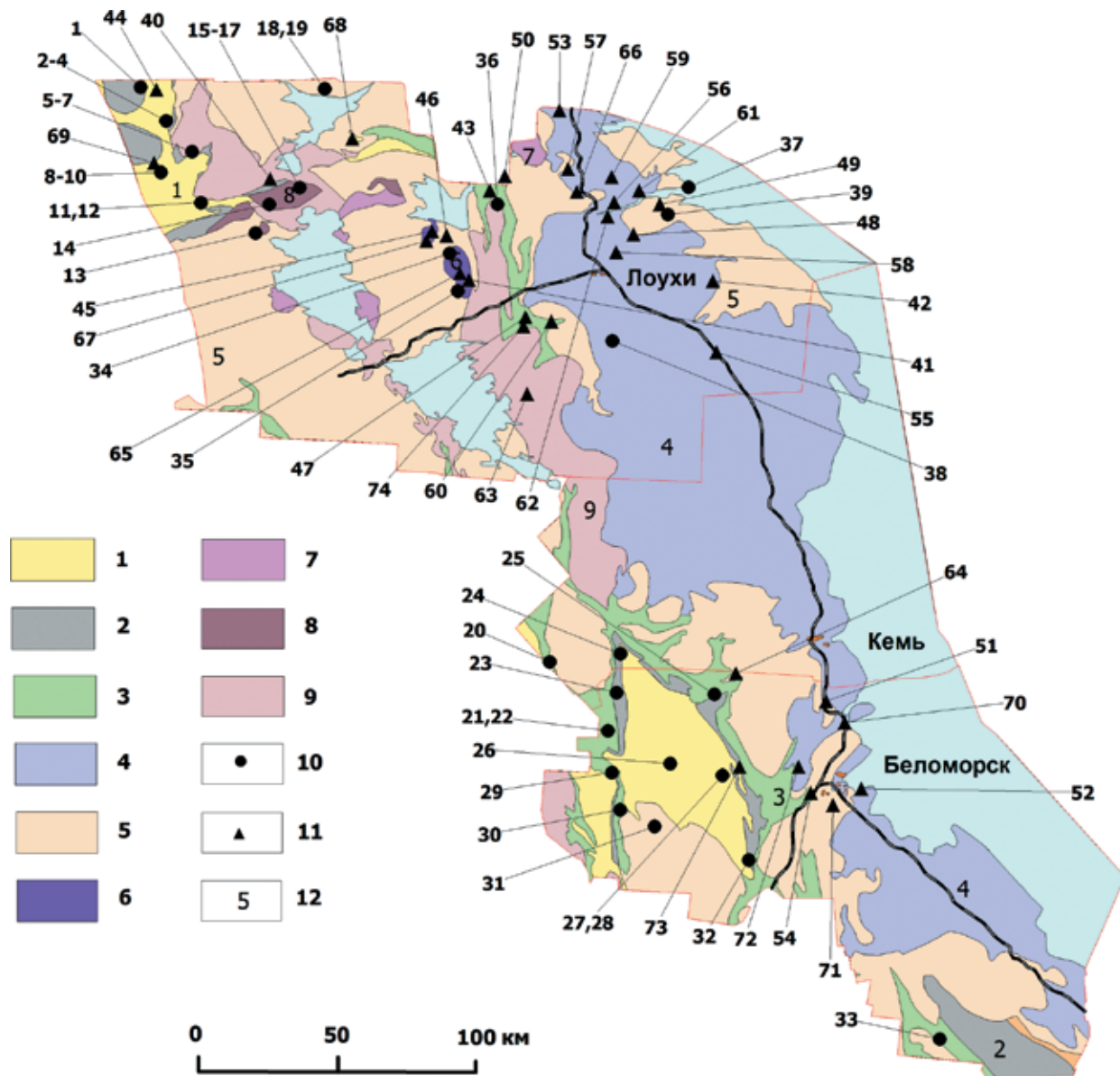
в современный исторический период способствовало строительство Мурманской железной дороги. Созданная в 1922 г. контора Чупинских разработок осуществляла промышленную добычу слюды и полевошпатового сырья на месторождении Панфилова Варакка вблизи пос. Чупа-Пристань на о-ве Олений.

Геология и минерагения АЗРК. Геологические особенности территории АЗРК (рисунок) определяются структурно-вещественными комплексами Карельского неогаргейского кратона, Беломорского мобильного пояса (БМП), внутриконтинентального палеопротерозойского Северонорвежско-Онежского рифта и их переработкой в свекофенноское время.

Карельский кратон сложен преимущественно архейскими гранитоидами (ТТГ-ассоциация) и коллажированными комплексами зеленокаменных поясов.

В составе БМП доминируют неогаргейские гранитоиднейсы, а также зеленокаменные и парагранитоидные комплексы, неоднократно подвергшиеся высокобарическому метаморфизму в архее и протерозое. В структурном аспекте он представляется как сложный тектонический коллаж, состоящий из разновозрастных пород, сформированных в разных геологических обстановках.

Северонорвежско-Онежский рифт длительного (2500–1850 млн лет) полициклического развития в пределах АЗРК выражен несколькими структурами



Карта размещения месторождений, проявлений металлов и промышленных минералов АЗРК. Сост. В. В. Щипцов, В. И. Иващенко, Н. И. Щипцова

1 – ятулий–людиковый нерасчлененные (2,30–1,92 млрд лет); 2 – сумий–сариилий нерасчлененные (2,5–2,3 млрд лет); 3 – комплексы ЗП (2,88–2,72 млрд лет); 4 – комплексы БМП (2,9–1,8 млрд лет); 5 – ТТГ–карельский комплекс (3,0–2,8 млрд лет); 6 – щелочно–габбровые интрузивы с карбонатами (2,07–2,00 млрд лет); 7 – граниты (2,7–2,65 млрд лет); 8 – расслоенные массивы основных и ультраосновных пород (2,45–2,4 млрд лет); 9 – чарнокиты, гранодиориты, монзониты (2,778–2,720 млрд лет); 10, 11 – месторождения и рудопроявления: 10 – металлы, 11 – промышленные минералы; 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 – Ристаниemi, 11 – Корпела, 12 – Сувалампи; 13–17 – Pt–Pd–Au Олангской группы расслоенных интрузий: 13 – Кивакка, 14 – Ци–принга, 15–17 – Луккулайсваара (15 – Надежда, 16 – Восточное, 17 – Череп); 18 – Та–Nb–Y пегматиты: 18 – Визи–полуостров, 19 – Аськиярви; 20 – Мо–порфировое месторождение Пяяваара; 21 – Cu–Au–порфировое месторождение Лобаш–1; 22 – Mo–Re–порфировое месторождение Лобаш; 23–32 – Au проявления Лехтинской структуры: 23 – Южная Сянда, 24 – Колгевара, 25 – Маслозеро, 26 – Вильямлампи, 27 – Шуезерское Cu–Mo–Au месторождение, 28 – Риговаракка, 29 – Au–U Железные Ворота, 30 – Au–Cu Нигалма, 31 – Au–Ag Тунгуда, 32 – Au Пайозеро; 33 – Ni Пулозеро; 34 – Nb–Ta–La–Ce–Y–Zr–Hf–Be проявления Еletzьерской площади; 35 – Zr–Hf–Ce Черное; 36 – Au Рябяярви; 37 – Au–Ag–Cu Медвежья Губка; 38 – МПГ–V–Ti–Fe Травяная Губа; 39 – МПГ–Au–Ni–Cu Климовское.

Промышленные минералы: 40 – Соколезерская алмазоносная площадь, 41 – Суриваара Илм, 42 – Никонова Варакка Q, 43 – Степаново озеро Q, 44 – Майское Q; Тикшеозерский массив: 45 – Карбонатитовое Ар–Са, 46 – Восточное Илм–Ар, 47 – Хизоваарская структура (Южная линза Ку–Q–Ру, Северная линза Ку, Восточная линза Ку); проявления гранатовых руд Gr: 48 – Плотина (Ms–Q), 49 – Левин Бор, 50 – Униярви, 51 – Кожручейское, 52 – Кузостровское, 53 – Нигрозеро, 54 – Удинское, 55 – Энгозерское; месторождения мусковита (Ms–Q): 56 – Малиновая Варакка, 57 – Тэдино, 58 – Слюдозеро, 59 – Карельское, 60 – Межозерное; месторождения Ms–Peg: 61 – Чколоамбина, 62 – Чколоамское, 63 – Пиртима Ms–Peg, 64 – Охтинское поле, 65 – Еletzьезеро Fsp–Ne, 66 – Нижнее Котозеро Fsp, 67 – Шапкозерское Ol–Du, 68 – Ханкус Ol, 69 – Соваярвинское Са, 70 – Тербеостров Gr–Ку, 71 – Слюдяной Бор Fsp–Peg, 72 – Торлов Ручей Peg, 73 – Роза–Лампи Fsp, 74 – Высота–181 Gr–Ку–St.

Ар – апатит, Са – кальцит, Crd – кордиерит, Du – дунит, Fsp – калишпат, Gf – графит, Gr – гранат, Илм – ильменит, Ку – кианит, Ms – микроклин, Ms – мусковит, Ne – нефелин, Ol – оливин, Peg – пегматит, Ру – пироксен, Q – кварц, St – ставролит

(Лехтинская, Пана-Куоляярвинская, Шомбозерская и др.), сложенными рифтогенными вещественными комплексами, включая расслоенные мафит-ультрамафитовые интрузии.

Минералогия и соответственно минерально-сырьевой потенциал АЗРК определяются ее особенностями геологического развития и распространенностью в настоящее время в пределах металлогенически перспективных литогеодинамических (структурно-вещественных) комплексов.

Структурно-вещественные комплексы архейских зеленокаменных поясов (ЗП), развитые в АЗРК, относятся к системе внешних ЗП северо-восточного аккреционного фланга Карельской гранит-зеленокаменной области, где корообразующие процессы в мезо- и неархейское время, вероятно, были связаны с последовательной аккрецией островодужных террейнов, формировавшихся в обширном океаническом бассейне на месте нынешнего БМП. Сформированный при этом ороген относится к аккреционному типу, значительно более высокопродуктивному на золото [19], чем коллизионные орогены внутренних ЗП. Для АЗРК это подтверждается наличием в Пибозерском ЗП Лобашской **Ау-Мо-порфировой рудной системы** с крупным месторождением молибдена (Лобаш) и наиболее значимым в Карельском регионе **Си-Ау-порфирым** месторождением Лобаш-1.

Следующий металлогенический этап АЗРК связан с формированием в раннем протерозое на границе Карельского кратона и БМП длительно (2,5–1,85 млрд лет) развивающегося внутриконтинентального Северонорвежско-Онежского рифта [12] (палеопротерозойского Лапландского ЗП, по интерпретации финских геологов). Металлогения этого этапа определялась главным образом внедрением расслоенных интрузий Олангской группы (Pt, Pd, Au, Cu, Ni), становлением Елетьозерско-Тикшеозерского щелочно-карбонатитового комплекса (Ti, V, P, Nb, TRE) и накоплением обогащенных **Ау, МПГ, U и др. металлами** углеродсодержащих вулканогенно-осадочных толщ, служивших в последующем 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 архейских геоблоков – Карельского и Кольского, что привело к формированию крупного коллизионного орогена [18]. 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. Такой тип золоторудной минерализации известен в районе Верхние Кичаны, комплексной золото-урановой – в Лехтинской, Шомбозерской и Куоляярвинской структурах, медно-никелевой золото-платиноидной – на участке Климовский [10]. Со свекофеннским этапом связано также формирование редкометалльных пегматитов (Аськярви и др.) и иттриевоземельно-скандиевой пиральситовой минерализации в беломорских гнейсах [11].

Металлические полезные ископаемые АЗРК. Молибден. Известно два молибденовых месторождения – Лобаш и Пяяваара (рисунок), в генетическом аспекте относящихся к порфировому типу оруденения.

Месторождение Лобаш [13] представлено крупным (2000 × 500–750 × 200 м) кварцево-жильным штокверком в надвентуриальной зоне нескрытого эрозией массива порфиroidных гранитов (возраст 2715 ± 13 млн лет, циркон, ТИЭ, U/Pb), прорывающего метавулканиты лопия. Возраст оруденения – 2720 ± 36 млн лет (молибденит, Re/Os) [2]. Рудная и геохимическая зональность на месторождении отвечает классической для порфиroidных систем: от кровли гранитоидов и к периферии штокверка – молибденит, пирит – пирротин, халькопирит – галенит, сфалерит, золото, серебро. Молибденовые руды по технологическим свойствам относятся к легкообогащаемым, а их запасы, поставленные на государственный баланс (протокол ЦКЗ Мингео СССР от 14.02.1991 № 30), составляют (в тыс. т): С₁ 83 418 – руда, 56,9 – молибден, среднее содержание Мо 0,068 %; С₂ 121 436 – руда, 71,2 – молибден, среднее содержание Мо 0,059 % [13]. Месторождение Лобаш – одно из крупнейших молибден-порфиroidных в мире архейского возраста. Горнотехнические условия благоприятны для его обработки открытым способом.

На месторождении при условии его промышленной разработки на молибден может также добываться рений и моноизотоп осмия – ¹⁸⁷Os. Эти два металла являются остродефицитными стратегическими и исключительно дорогостоящими. Содержание Re в молибдените Лобаша – 22–70 г/т, ¹⁸⁷Os – 0,6–2,0 г/т [2], соответственно прогнозные ресурсы рения ~12 т, ¹⁸⁷Os ~65 кг.

Расположенное в 32 км к северо-западу от него *Пяяваарское месторождение* (рисунок) с прогнозными ресурсами 101,7 тыс. т молибдена [7] отличается значительной эродированностью и более низкими содержаниями молибдена.

Золото. В арктических районах Карелии золоторудные объекты известны в архейском Пибозерском ЗП, БМП и на российском продолжении палеопротерозойских ЗП – Куусамо и Лапландского. В последних на территории Финляндии размещается ряд промышленных золоторудных месторождений орогенного типа, в том числе и крупнейшее в Европе – Суурикуусикко (добыто > 40 т золота; резерв ~150 т).

В Пибозерском ЗП расположено золотопорфиroidное месторождение *Лобаш-1* (рисунок), являющееся частью рудно-магматической системы одноименного гранитного массива [7, 13]. Штокверковая золоторудная минерализация локализована в субгоризонтально залегающих метавулканитах пибозерской серии лопия на удалении 300–400 м от кровли интрузива. Она сосредоточена в карбонат-сульфидно-кварцевых прожилках, жилах и зонах прокварцевания и пропилитизации мощностью до 1–2 м, приуроченных к контактам пород разной кремнекислотности и особенно к кварцевым порфирам и риодацитам [7]. Рудноносный пологозалегающий штокверк размером 300 × 800 м прослеживается до глубины 250–300 м. В рудных телах линзовидно-пластовой морфологии 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.

Руды мелкозернистые полисульфидные — галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин, висмутотеллуриды и др. 97,5 % золота находится в свободной форме, 2,5 % — в сульфидах. Преобладающий размер золотин — < 0,15 мм, изредка до 0,8 мм, пробность 620–950. Запасы золота по кат. C₂ оцениваются в 5,06 т, серебра — 10,7 т, меди — 4,3 тыс. т [7]. По переоценке, произведенной в 2010 г., месторождение Лобаш-1 переведено в разряд крупнообъемных комплексных золото-содержащих со следующими содержаниями, запасами и ресурсами: золото — 0,46 г/т, C₂ — 34,4 т, P₁ + P₂ — 209,7 т; медь — 0,18 %, C₂ — 126,2 тыс. т, P₁ + P₂ — 771,8 тыс. т.

В российской части палеопротерозойского ЗП Куусамо, представленного Пана-Куоляярвинской структурой, известны благороднометалльные и золото-урановые рудные объекты [1], сформированные в процессе кислотного выщелачивания, K-Na-го и углекислотного метасоматоза, сопряженного с проявлением сдвиговых деформаций в связи со свекофенскими, а возможно, и более поздними эндогенными событиями.

Месторождение Майское размещается в восточной краевой части Куоляярвинской структуры (рисунок) и контролируется субмеридиональной сдвиговой зоной. Рудные тела представлены двумя сближенными (250 м) крутопадающими кварцевыми жилами (мощность до 5–6 м) в нижнепротерозойских основных вулканитах, претерпевших тремолитизацию, биотитизацию, альбитизацию, карбонизацию и гумбитизацию. Морфология жил пластинообразная, линзовидная, местами четковидная с раздувами и пережимами. Их протяженность — 250–300 м по простиранию, ~ 60–80 м по падению.

Оруденение золото-кварцевого малосульфидного типа сопряжено с образованием мелкозернистого гранулированного кварца и теллуридно-галенитовой минеральной ассоциации. Содержания рудных минералов 0,5–1 %, в отдельных гнездах — 3–5 %. Золото встречается в виде чешуек, дендритов, изометричных и ксеноморфных выделений размером 0,01–1,5 мм и пробностью 840–960 ‰, а также микронных зерен низкой пробности — вплоть до электрума.

Содержание золота в рудах месторождения Майское крайне варьированное от следов до сотен г/т. Элементы-спутники золота (в %): Cu — до 1, Pb — до 0,3, Ag — до 0,008, As — до 0,015, Sb, Bi, Mo, W. Руда легкообогатима гравитационным способом. Запасы по C₂ до глубины 30 м — 196,8 кг при среднем содержании Au 7,625 г/т. Прогнозные ресурсы по кат. P₁ + P₂ — 537 кг [7].

Для благороднометалльно-урановых проявлений в Пана-Куоляярвинской структуре (Озерное, Лагерное и др.) характерно повышенное содержание молибдена (до 0,2–0,3 %). При этом молибденит имеет аномально высокие концентрации Re до 1,2 % и Se до 15 %, впервые установленные А. А. Калининым [6] и подтвержденные нашими исследованиями. Данное обстоятельство раскрывает новые металлогенические перспективы Пана-Куоляярвинской структуры.

На продолжении Лапландского ЗП в Карелии (Шомбозерская и Лехгинская структуры) известно несколько незначительных по размерам золото-рудных проявлений (рисунок), по своим особенностям в большинстве своем отвечающим орогенному мезотермальному типу.

В БМП широкомасштабное проявление процессов благороднометалльного рудогенеза выявлено в последние годы [15]. В начале прошлого века после обнаружения высоких содержаний золота в «фальбандах» было начато изучение благороднометалльных проявлений в хетоламбинской толще, детально исследованных работами ВСЕГЕИ [10, 15], выделившими на Лоухской поисковой площади как наиболее перспективный Климовский рудный узел (рисунок).

Климовский рудный узел характеризуется широким распространением горизонтов золото- и МПГ-содержащих метасоматитов по ортоамфиболитам и амфиболовым сланцам, являющихся, по-видимому, гетерогенными образованиями, в том числе и измененными основными породами комплекса лерцолитов-габброноритов. Их формирование, вероятно, связано со свекофенской активацией (1,85–1,7 млрд лет) и контролируется протяженными зонами сдвиговых дислокаций [10, 15]. Метасоматиты содержат рассеянную сульфидную и благороднометалльную минерализацию. В пределах рудного узла выделено шесть согласно залегающих протяженных (> 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-платинопалладиевую (Pd 0,23–1,4, Pt 0,16–0,3 и Au 0,3–0,6 г/т) специализацию. Суммарные прогнозные ресурсы кат. P₁ + P₂ по Климовскому рудному узлу составляют (т): Au — 36,4, Pt—19,5, Pd—27,9; Cu и Ni 316 и 340 тыс. т соответственно [10].

Металлы платиновой группы. Известно несколько перспективных рудопроявлений в расчлененных интрузивах Олангской группы (рисунок), из которых Луккулайсваара является самым крупным (8 × 4 км) и детально изученным. Комплексное (Pd, Pt, Au, Ni, Cu) оруденение приурочено к норитовой серии дифференциации. Наиболее значительные концентрации МПГ установлены в зонах относительного обогащения (~1 %) сульфидами (халькопирит, пентландит, пирротин, миллерит и др.). Кроме собственных минералов МПГ (> 20), в тесной ассоциации с ними встречаются минералы ряда кобальтин-герсдорфит с примесью Rh и Pd, Pd-содержащий пентландит, гессит, электрум, самородное золото.

Наиболее перспективными рудопроявлениями в массиве Луккулайсваара являются Надежда и Восточное Критической Зоны. Содержание МПГ в них достигает 2 и 20 г/т соответственно. По данным компании «Норит», запасы и ресурсы МПГ + Au в целом по всем перспективным рудным участкам этого массива составляют по кат. P₁ + C₁ + C₂ 74,3 т с содержанием ∑ Pt, Pd, Au 1,75 г/т, а общие прогнозные ресурсы (P₁ + P₂) благородных металлов по Олангской группе проявлений оцениваются в ~ 200 т, в т. ч. золота ~ 20 т.

В БМП к потенциально МПГ-никеленосным относятся раннепалеопротерозойские образования комплекса лерцолитов-габброноритов (2,4–2,45 Ма), возрастные и формационные аналоги расчлененных интрузивов Койлисмаа и Оланги. В породах комплекса обнаружены минеральные фазы всех шести платиноидов: сульфоарсениды Ru, Os, Ir, Rh; арсениды, сульфоарсениды, сульфиды Pt; арсениды и арсено-антимониды Pd.

Редкие металлы. Известные в пределах АЗРК редкометалльные пегматиты имеют, как правило,

комплексную рудную нагрузку, но с низкими содержаниями и незначительными ресурсами [5]. Исключение — пегматитовые проявления Асыкярви и Визиполуостров на Севере Карелии (рисунок) с содержанием, по данным бороздового опробования, проведенного ФГУП «Невскгеология», суммы редких металлов Nb, Ta, Zr, Y 15–30 %.

Редкометалльная минерализация отмечается также в породах Ельтозерского щелочно-габброидного массива и в Тикшеозерских карбонатитах. В щелочных пегматитах и метасоматитах Ельтозера содержание редких металлов достигает (в %): Nb — 0,5, Ta — 0,015, Y — 0,5, La — 0,1, Ce — 0,3, Hf — 0,03, Zr — 1, Be — 0,3 [7]. В титаномагнетитовых рудах отмечается устойчиво повышенное содержание Nb ~100 г/т, а во вмещающих их клинопироксенитах Sc — 30–40 г/т.

Редкоземельно-скандиевые гранатовые проявления Беломорья [11] выделяются на базе известных здесь рудных объектов пиральспитового граната, характеризующегося промышленными содержаниями Sc₂O₃ 145–521 г/т и высокоперспективным составом РЗМ (содержание их оксидов 245–608 г/т, доля YРЗМ > 85,5 %). Прогнозные ресурсы скандия на гранатовых проявлениях Беломорья варьируют в диапазоне 0,7–695 т Sc₂O₃.

Неметаллические полезные ископаемые. Мусковит. Как источник сырья для различных отраслей промышленности мусковит традиционно делится на два вида — листовый и мелкоразмерный (< 4 см²).

Интенсивная разработка месторождений слюды в Беломорье началась в 30-е годы XX в. ГОК «Карелслюда» выпускал более половины отечественного мусковита с попутным извлечением из пегматитов кварца и полевошпатового сырья. К настоящему времени известно 34 месторождения мусковита, но ни одно из них не эксплуатируется.

Коренное изменение конъюнктуры мирового слюдяного рынка в 90-х годах XX в. привело к ликвидации инфраструктуры слюдяной горнодобывающей промышленности в Беломорье, пересмотру сырьевых стандартов и к переориентации промышленных интересов на дефицитную мелкошелушчатую маложелезистую слюду и, соответственно, к поискам ее рентабельных месторождений. Одно из таких месторождений открыто в восточной части Хизоваарской структуры (рисунок). Благодаря высоким технологическим свойствам мусковита, его руды являются уникальным сырьем для производств различного назначения (наполнители пластмасс, пигментов, органосиликатные материалы и др.).

Керамические пегматиты. Добыча керамического сырья началась на Севере Карелии в 1924 г. на месторождении Хетоламбина, представленного крупными пегматитовыми жилами в гнейсах, гнейсо-гранитах и амфиболитах мезоархей. Содержание микролина на месторождении колеблется от 28 до 76 %. Имеются резервные участки — Ураккозерская и Кивгубская жильные зоны с прогнозными запасами 4,8 млн т. В настоящее время, не считая поставку малообъемных партий керамического сырья, месторождения в Северной Карелии (Лоухский район) не разрабатываются [8].

Кварц. Все учтенные госбалансом РФ разведанные запасы кварца в Республике Карелия связаны со слюдяными и слюдяно-керамическими пегматитами Беломорской слюдоносной формации:

Малиновая Варакка, Большая Панфилова Варакка, Слюдяной Бор и др. (рисунок), но по высокому качеству и значительным ресурсам промышленно перспективными могут быть также кварцевые жилы в Куолаярвинской структуре, включая и вмещающие золоторудное месторождение Майское.

Молочно-белый кварц пегматитовых жил характеризуется высоким качеством и пригоден для производства кварцевой керамики, прозрачного кварцевого стекла, многокомпонентного оптического стекла, получения кварцевой крупки, отвечающей требованиям ТУ 21-РСФСР-560-77 и ГОСТ 8680–73 [8]. Жильный кварц месторождений Северной Карелии может также частично заменить горный хрусталь III (ОСТ 41-01-152-79).

Прогнозные ресурсы кварца АЗРК на перспективных участках БМП (Пиртозеро, Хутор Половина, район Шуерешского и др.) и Карельского кратона (Рухнаволоок, Тухкала, Степаново озеро — Рябовара) составляют соответственно 516 и 63 тыс. т.

Кианит. Кианитовые проявления в АЗРК известны в глиноземистых гнейсах Чупинского парагнейсового комплекса БМП и в тождественных им по содержанию глинозема гетерогенных породах Северо-Карельского ЗП (Хизоваарская структура) Карельского кратона (рисунок). В Беломорье определяющим фактором кианитообразования, помимо соответствующего вещественного состава субстрата, являлся высокобарический метаморфизм кианитового типа (фациальная серия B₂ — B по В. А. Глебовицкому [4]), а в Северо-Карельском ЗП — также и метасоматоз.

Наиболее перспективный и достаточно детально изученный кианитовый рудный объект в АЗРК — Хизоваарское месторождение (рисунок) в одноименной структуре Северо-Карельского ЗП. Кианитовые руды Хизоваары относятся к промышленной сырьевой базе высокоглиноземистых пород России [9]. Данный объект наиболее подготовлен к промышленному освоению. В карьере Южной линзы месторождения производилась опытная добыча руды с содержанием (в %): кианита 10–25, кварца 75–85, мусковита 0,5–1. Линзообразное тело имеет длину 950 м при мощности 80–100 м.

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 превосходят в три раза по прочности подобные изделия из украинского кианита-силлиманита. В настоящее время российские потребители применяют дорогостоящие огнеупоры отечественного производства с использованием электрокорунда, карбида кремния и циркона. В то же время карельский кианит может полностью обеспечить потребности огнеупорной промышленности страны.

Гранат. На территории АЗРК в пределах БМП гранат выступает в качестве распространенного породообразующего минерала, а его промышленные проявления относятся к метаморфогенному классу месторождений, образование которых определяется условиями амфиболитовой фации метаморфизма кианитового или кианит-силлиманитового типов. Значительную роль играет также метасоматоз кислотной стадии кианит-мусковитовой и кварц-мусковитовой фаций [16].

По составу пород субстрата выделяются два типа гранатовых проявлений — в амфиболитах

и высокоглиноземистых гнейсах чупинской свиты. К первому относятся Нигрозеро, Южно-Керетское, Левин Бор, Энгозерское, Дядина Гора, ко второму — Западная Плотина, Слодозеро, Удинское, Тербеостров и др. (рисунок).

На комплексном кианит-гранатовом месторождении Тербеостров содержание граната в амфиболитах 2–12 %, в пегматитизированных участках до 30 %. К гранатовым амфиболитам приурочены зоны гранат-амфибол-слюдяных пород — жедрититов и слюдитов, в которых отмечаются прослои, обогащенные гранатом до 30–50 % с размерами кристаллов до 25 см в поперечнике.

Гранатовые рудные объекты установлены также в Хизоваарской структуре. Одно из наиболее перспективных среди них — месторождение Высота-181, особенности строения которого отражают многостадийность синтетектонических и метаморфо-метасоматических процессов, ответственных за его формирование. На месторождении выделяются гранат-кианит-кварцевые, гранат-кианит-ставролитовые и кианит-кварцевые типы руд, состав и масштабы распространения которых — прямое следствие проявленного здесь метасоматоза.

Анортозиты. Котозерский массив БМП (рисунок) сложен в основном светло-серыми и белыми огнейсованными метаанортозитами, окаймляемыми повсеместно гранатовыми амфиболитами. Геолого-технологические исследования показали принципиальную возможность обогащения анортозитов с получением лабрадоритового концентрата высокого качества, а запасов достаточно для организации добычи с годовой производительностью карьера до 100 тыс. т.

Алмазы. В арктических районах Карелии к перспективным на алмазы относится *Сокологерская площадь* (рисунок). В прошлом веке здесь работали Центрально-Кольской экспедиции были выявлены алмазы в шлиховых пробах, отобранных из водно-ледниковых, моренных и флювиогляциальных отложений. 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 алмазов по Сокологерской площади составляют 12 млн карат.

Апатиты. Апатитовые проявления в АЗРК связаны с Ельтьозерским и Тикшеозерским массивами протерозойской щелочно-ультрасосновой формации, время становления которых оценивается в 2080 ± 30 млн лет (U-Pb, циркон, SHRIMP-II) [14] для первого и 1999 ± 5 Ма (U-Pb, бадделеит, SHRIMP II) [17] для второго.

Наиболее широко (площадь выхода ~2 км²) апатитоносные карбонатиты развиты в пределах Тикшеозерского массива. По петрохимическим характеристикам различаются высококальциевые и магнезио-кальциевые карбонатиты, представляющие также интерес для цементной промышленности. Прогнозные ресурсы оцениваются в 900 млн т карбонатитовой руды, около 40 млн т в пересчете на P₂O₅ со средним содержанием 4,3 %; в титанавгитовых габбро-пироксенитах среднее содержание P₂O₅ — 3,5 %.

Нефелиновые сиениты и щелочные сиениты. Эти образования известны в строении Ельтьозерского щелочно-габброидного массива, где слагают два перспективных участка — Северный и Южный. На Северном участке тело сиенитов имеет длину 750–1250 и ширину 225–500 м. Главные минералы сиенитов — микроклин-пертит, альбит, нефелин (в сумме 75–85 %). Прогнозные ресурсы горной массы составляют по кат. P₁ 9,5 млн т.

Ильменит. Ильменитовая минерализация в промышленных масштабах отмечается в Ельтьозерском и Тикшеозерском массивах. Рудные тела выявлены на трех участках — Суриваара, Нятоваара и Межозерный. Суммарное содержание ильменита, титаномагнетита и магнетита от 10–15 до 80 %. Рудный участок Суриваара наиболее перспективный. По содержанию TiO₂ титаномагнетит-ильменитовые руды подразделены на три сорта (в %): свыше 12, 8–12 и 5–8. Состав V₂O₅ — 0,06–0,18 %. Наиболее крупная залежь — протяженностью 1400 м при средней мощности 36 м. Запасы насчитывают более 60 млн т при среднем содержании TiO₂ 8 %. Прогнозные ресурсы до глубины 200 м — 182,5 млн т руды, в т.ч. TiO₂ около 3,5 млн т [8].

Оливиниты и дуниты. Значительные объемы в пределах Тикшеозерского и Ельтьозерского массивов занимают оливиниты, дуниты и оливиновые габбро. Благодаря отсутствию в них химически связанной воды, они являются наиболее ценным сырьем для производства форстеритовых огнеупоров. Содержание MgO в некоторых оливинитовых породах достигает 45 %.

Кварцевый порфир. На месторождении Роза-Лампи (рисунок) установлены два штока лейкократовых кварцевых порфиров, являющихся ценным минеральным сырьем. Параметры месторождения: протяженность до 1500 м, мощность 150–400 м и прослежено на глубину до 70 м. Минеральный состав (в %): кварц 35–50, калиевый полевой шпат 40–50, серицит 5–10, биотит 1–3. Запасы — 147 млн т руды (глубина подсчета 30 м). Выход полевошпатового концентрата, полученного флотэлектромагнитной сепарацией, составляет 45 %. Содержание в нем основных компонентов (в %): Fe₂O₃ 0,15, Al₂O₃ 14,4, Na₂O 1,48, K₂O 11,3 — позволяет использовать его для производства высоковольтного электротехнического фарфора, керамических изделий, кислотоупоров и др.

Выводы. Минералогия и соответственно минерально-сырьевой потенциал АЗРК определяются особенностями ее геологического развития в архео-протерозое (2,9–1,7 млрд лет) и распространенностью в ее пределах металлогенически перспективных литогеохимических комплексов архейских ЗП, Северонорвежско-Онежского рифта и БМП.

Архейские ЗП АЗРК относятся к системе внешних поясов аккреционного типа Карельской гранит-зеленокаменной области, значительно более высокопродуктивных на золото, чем коллизионные орогены внутренних ЗП.

Минералогия Северонорвежско-Онежской рифтогенной системы в пределах АЗРК определялась главным образом внедрением расчлененных интрузий Олангской группы (Pt, Pd, Au, Cu, Ni), становлением Ельтьозерско-Тикшеозерского щелочно-карбонатитового комплекса (Ti, V, P, Nb, TRE) и накоплением обогащенных Au, МПГ, U и др.

металлами углеродсодержащих вулканогенно-осадочных толщ, служивших в дальнейшем базовыми рудными формациями при формировании комплексных золоторудных объектов орогенного мезотермального типа.

К настоящему времени БМП представляется как часть крупного коллизионного орогена с широким распространением систем сдвиговых зон свекофеннского возраста, ответственных за ремобилизацию более ранних рудных концентраций и образование золоторудных метасоматитов на всей территории АЗРК.

Минерагенический потенциал АЗРК определяется комплексными (Mo, Cu, Au, Re, ¹⁸⁷Os) порфиоровыми месторождениями Лобашской гранитогенной рудной системы, орогенными мезотермальными Au, Au-U, Au-Pd-Ni рудными объектами (Куолярвинская, Лехтинская и др. структуры), комплексным (Ti, V, P, Nb, TRE) оруденением Тикшеозерско-Елетьозерского комплекса, Pt-Pd-Au-Cu-Ni проявлениями Олангских расщепленных интрузий, редкометалльными пегматитами, иттриевоземельно-скандиевой пиральспитовой минерализацией в беломорских гнейсах, а также широким спектром многочисленных рудных объектов промышленных минералов и пород.

В соответствие с мировой конъюнктурой значение промышленных минералов (высокочистый кварц, мелкощуччатый мусковит, гранат, ставролит, ильменит, магнезиальные и глиноземистые комплексы, полевошпатовое сырье – пегматиты, нефелиновые и щелочные сиениты, анортозиты, кварцевые порфиры, карбонатные породы, диатомиты и др.) в экономике минерального сырья имеет достаточно стабильную тенденцию к росту, что способствует повышению перспектив промышленного освоения различных видов минерального сырья в АЗРК.

1. Афанасьева Е.Н., Миронов Ю.Б. Золото-урановое оруденение центральной части Лапландского пояса (Балтийский щит) // Уран: геология, ресурсы, производство: материалы 4-го Международного симпозиума. – М.: ВИМС, 2017. – С. 11–13.

2. Богачёв В.А., Иваников В.В., Крымский Р.Ш., Иващенко В.И. и др. Изохронный Re-Os возраст молибденитов раннедокембрийских порфиоровых месторождений Карелии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. 2013. Вып. 2. – С. 3–20.

3. Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В. и др. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 6. – С. 479–500.

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

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

6. Калинин А.А., Савченко Е.Э., Селиванова Е.А. Минерализация Se и Te в альбититах и перспективы золоторудности метасоматитов Салла-Куолярвинской зоны, Северная Карелия // Докл. РАН. 2014. Т. 455. № 1. – С. 58–61.

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

8. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2 / под ред. В.П. Михайлова и В.Н. Аминова. – Петрозаводск: Карелия, 2006. – 356 с.

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

10. 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 минерагения Северо-Запада России: материалы Всероссийской конференции. – Петрозаводск, 2007. – С. 292–296.

11. Ручьев А.М. Карельский гранат – перспективный источник скандия и редкоземельных металлов // Труды Карельского научного центра РАН. Серия «Геология докембрия». 2017. № 2. – С. 30–42.

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

13. Тытык В.М., Фролов П.В. Молибденовое месторождение Лобаш – крупный перспективный объект в Республике Карелия // Труды Карельского научного центра РАН. Серия «Геология докембрия». 2014. № 1. – С. 56–62.

14. Шарков Е.В., Беляцкий Б.В., Богина М.М. и др. Кристаллогенезис и возраст циркона из щелочных и основных пород Елетьозерского магматического комплекса, Северная Карелия // Петрология. 2015. Т. 23. № 3. – С. 285–307.

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

16. Щипцов В.В., Бубнова Т.П., Скамницкая Л.С. и др. Гранатовые руды Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – 20 с.

17. 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. N 3. – P. 302–308.

18. 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 / D.G. Gee, R.A. Stephenson // European Lithosphere Dynamics. Geological Society of London, 2006. Memoirs 32. – P. 579–598.

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

1. Afanasyeva E.N., Mironov Yu.B. Gold-uranium mineralization of the central part of the Lapland Belt (Baltic Shield). *Uranium: Geology, Resources, Production: materials of the 4th International Symposium*. Moscow: FGBU VIMS. 2017. Pp. 11–13. (In Russian).

2. Bogachev V.A., Ivanikov V.V., Krymskii R.Sh., Ivashchenko V.I., Belyatskii B.V., Gol'tsin N.A., Sergeev S.A. Re-Os molybdenite isochron age for Early Precambrian porphyry deposits in Karelia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7*. 2013. No 2, pp. 3–20. (In Russian).

3. 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. Strategic metals deposits in the Arctic zone. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2015. Vol. 57. No 6, pp. 479–500. (In Russian).

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

5. Ivashchenko V.I. Main ore-forming types of rare-metal mineralization in Karelia. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2016. Vol. 58. No 2, pp. 189–194. (In Russian).

6. Kalinin A.A., Savchenko E.E., Selivanova E.A. Se and Te mineralization in albitites and prospects of the metasomatites for Au, Salla-Kuolajarvi Belt, Northern Karelia. *Dokl. RAN*. 2014. Vol. 455. No 1, pp. 58–61. (In Russian).
7. Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw material base of the Republic of Karelia]. Eds. by V.P. Mihajlova, V.N. Aminova. Petrozavodsk: Kareliya. 2005. Kn. 1. 278 p.
8. Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw material base of the Republic of Karelia]. Eds. by V.P. Mihajlova, V.N. Aminova. Petrozavodsk: Kareliya. 2006. Kn. 2. 356 p.
9. 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.
10. Petrov O.V., Shevchenko S.S., Akhmedov A.M. New industrial types of complex ores of noble and non-ferrous metals in the Precambrian of the eastern part of the Baltic Shield. *Geodynamics, Magmatism, Sedimentogenesis and Mineralogy of the Northwest of Russia: Proceedings of the All-Russian Conference*. 2007. Pp. 292–296. (In Russian).
11. Ruch'ev A.M. Karelian garnet is a promising source of scandium and rare earth metals. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. Seriya «Geologiya dokembriya»*. 2017. No 11, pp. 30–42. (In Russian).
12. Turchenko S.I. Metallogeniya tektonicheskikh struktur paleoproterozoya [Metallogeny of the Palaeoproterozoic tectonic structures]. St. Petersburg: Nauka. 2007. 175 p.
13. Tytyk V.M., Frolov P.V. Lobash molybdenum deposit: a big promising economic deposit in the Republic of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. Seriya «Geologiya dokembriya»*. 2014. No 1, pp. 56–62. (In Russian).
14. Sharkov E.V., Belyatskii B.V., Bogina M.M., Chistyakov A.V., Shchiptsov V.V., Antonov A.V., Lepekina E.N. Genesis and age of zircon from alkali and mafic rocks of the Yeletozero Complex, North Karelia. *Petrologiya*. 2015. Vol. 23. No 3, pp. 285–307. (In Russian).
15. Shevchenko S.S., Akhmedov A.M., Krupenik V.A., Sveshnikova K.Yu. Late Archean noble metal metasomatites of the Chupa-Loukhi fragment of the White Sea mobile zone (Northern Karelia). *Region. geologiya i metallogeniya*. 2009. No 37, pp. 106–120. (In Russian).
16. 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.
17. Corfu, F., Bayanova, T., Shchiptsov, V., Frantz, N. 2011: U-Pb ID-TIMS age of the Tikshozero carbonatite: expression of the 2.0 Ga alkaline magmatism in Karelia, Russia. *Cent. Eur. J. Geosci. Vol. 3. 3. 302–308*.
18. Daly, J.S., Balagansky, V.V., Timmerman, M.J., Whitehouse, M.J. 2006: The Lapland-Kola orogen: Palaeoproterozoic collision and accretion of the northern Fennoscandian lithosphere. In Gee, D.G., Stephenson, R.A. (eds): *European Lithosphere Dynamics. Geological Society. London. Memoirs 32. 579–598*.
19. Kerrich, R., Goldfarb, R., Groves, D., Garwin, S., Jia, Y. 2000: The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (Series D)*. 1–66.

Ивашченко Василий Иванович – канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ИГ КарНЦ РАН ¹. <ivashche@krc.karelia.ru>
Щипцов Владимир Владимирович – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ИГ КарНЦ РАН ¹. <shchipts@krc.karelia.ru>

Ivashchenko Vasily Ivanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, IG KarRC RAS ¹. <ivashche@krc.karelia.ru>

Shchiptsov Vladimir Vladimirovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department of Mineral raw materials, IG KarRC RAS ¹. <shchipts@krc.karelia.ru>

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН. Ул. Пушкинская, д. 11, Петрозаводск, 185910, Россия.
 Institute of Geology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 11, Pushkinskaya St., Petrozavodsk, 185910, Russia.