

УДК 553.04 (470.22)

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА КАРЕЛИИ: МЕТАЛЛЫ

В. В. Щипцов^{1,2*}, С. А. Светов¹

¹ Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *vv.shchiptsov@gmail.com

² Петрозаводский государственный университет (пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

С учетом исторических данных, нового фактического материала и результатов современных исследований, полученных специалистами Института геологии КарНЦ РАН, ПГО «Севзапгеология», ВСЕГЕИ, ИГГД РАН, ВИМС, СПбГУ, ПО «Невскгеология», АО «Полиметалл», дана обобщенная оценка минерально-сырьевой базы металлов Республики Карелия. Приведены сведения об истории освоения и использования недр территории, выделены основные рудные объекты металлов Республики Карелия. Охарактеризован Костомукшский рудный район, включающий Костомукшское и Корпангское железорудные поля с серией месторождений и проявлений железных руд. Приведены данные по окисным малосульфидным титаномагнетитовым рудам Пудожгорского месторождения ликвационно-магматического генезиса в границах Бураковского лополита по Аганозерскому месторождению хромовых и никелевых руд и Шалозерскому проявлению хромовых руд с попутной благороднометалльной минерализацией. Охарактеризован ванадий-урановый рудный тип с карбонатно-слюдистыми метасоматитами и слюдитами Онежского рудного района на примере месторождения Средняя Падма. Дано описание молибден-рениевого месторождения Лобаш, одного из крупнейших в мире молибден-порфировых месторождений архейского возраста с благоприятными горнотехническими условиями для отработки открытым способом. К экономически важным отнесены медно-золоторудное месторождение Лобаш-1, золото-кварцевые месторождения Майское и Эльмусское, золоторудное проявление Таловейс, а также крупное Китильское месторождение олова в западной олово-полиметаллической подзоне Салминско-Уксинско-Китильской рудной зоны. Приводится информация о первом на территории Карелии промышленно перспективном платинометалльном объекте Викша и платино-палладиевом проявлении Луккулайсваара в расслоенных интрузивах рифтогенной структуры Куусамо-Паанаярви-Ципринга. В Приладожье в рифейских альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах изучено месторождение Карку урановой формации типа «несогласия».

Ключевые слова: минерально-сырьевая база; металлы; месторождения; проявления; недра; Фенноскандинавский щит; докембрий

Для цитирования: Щипцов В. В., Светов С. А. Минерально-сырьевая база Карелии: металлы // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 5. С. 6–38. doi: 10.17076/geo2145

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт геологии КарНЦ РАН).

V. V. Shchiptsov^{1,2*}, S. A. Svetov¹. KARELIA'S PROVEN MINERAL RESOURCES: METAL ORES

¹ Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *vv.shchiptsov@gmail.com

² Petrozavodsk State University (33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

Historical data, new findings and latest research results are combined to produce an updated assessment of the mineral resources of metals in the Republic of Karelia. The factual background for the study is the results of the assessments of strategically and economically important deposits and large manifestations of metals in the Republic of Karelia done by specialists of the IG KarRC RAS, PGO Sevzapgeologiya, VSEGEI, IGGD RAS, VIMS, St. Petersburg State University, PO Nevskgeologiya, and JSC Polymetal. General information is provided on the history of subsoil use in the republic in the past. It is emphasized that the geological structure and formation history of useful minerals reflects various successive stages of the development of the Precambrian Earth's crust in the region. Specifically, attention is given to the relationship between tectonic movements, deep-seated processes and geological events which determined the specific features of the geodynamic processes in the eastern part of the Fennoscandian Shield. Karelia's main metal ore objects are named, such as the Kostomuksha ore district, which includes the Kostomuksha and Korpanga iron ore fields with a series of deposits and occurrences of iron ores and is part of the Severostal business ecosystem. Much emphasis is placed on the oxide low-sulfide titanomagnetite ores of the Pudozhgorskoye deposit of liquation-magmatic genesis within Burakovskiy lopolith boundaries, Aganzerskoye deposit of chromium and nickel ores, and Shalozerskoye occurrence of chromium ores with the associated precious metal mineralization. The vanadium-uranium ore type with carbonate-mica metasomatites and micas of the Onega ore region is characterized through the case of the Srednyaya Padma deposit. It is mentioned that the Lobash molybdenum-rhenium deposit is one of the world's largest molybdenum-porphyry deposits of Archean age with favorable conditions for its open-pit mining. Economically important mineral resources include the Lobash-1 copper-gold deposit, the Maiskoye gold-quartz deposit, the Elmus gold ore cluster, and the Taloveis gold occurrence. The large Kitelskoye tin deposit in European Russia is located in the western tin-polymetallic subzone of the Salmi-Uksinsko-Kitelskaya ore zone. The first industrially promising platinum metal site, Viksha, was discovered in Karelia, and the Lukkulaisvaara platinum-palladium occurrence was found in layered intrusions in the Kuusamo-Paanajarvi-Tspringa rift structure. In the Ladoga region, the Karku deposit of an "unconformity"-type uranium formation was studied in Riphean albite-carbonate-mica metasomatites.

Keywords: proven mineral resources; metals; deposits; occurrences; subsoil; Fennoscandian Shield; Precambrian

For citation: Shchiptsov V. V., Svetov S. A. Karelia's proven mineral resources: metal ores. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 5. P. 6–38. doi: 10.17076/geo2145

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (Institute of Geology KarRC RAS).

Введение

Современная оценка минерально-сырьевой базы металлов Республики Карелия является важной составляющей общей оценки социально-экономического потенциала региона. Необходимость в ней существовала всегда по мере получения нового фактического материала и пересмотра старых предположений на основе результатов исследований с применением современных методов, ведущихся специалистами Института геологии КарНЦ РАН, а также ПГО «Севзапгеология», ВСЕГЕИ, ИГД

РАН, ВИМС, СПбГУ, ПО «Невскгеология», АО «Полиметалл».

Указом президента от 27 июня 2017 г. территория Лоухского, Кемского и Беломорского муниципальных районов Республики Карелия включена в состав Арктической зоны РФ, а в 2020 году к Карельской Арктике дополнительно отнесены территории Сегежского, Калевальского муниципальных районов и Костомукшского городского округа в соответствии с Федеральным законом от 13 июля 2020 года № 193-ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне

Российской Федерации». В настоящей статье определяется роль и значение месторождений и крупных проявлений металлов Карельской Арктики в ресурсной базе Арктической зоны Российской Федерации.

Основными сводными материалами по месторождениям и проявлениям металлов в регионе являются монографии «Металлогения Карелии» [1982, 1999], «Недра Северо-Запада Российской Федерации» [Журавлев и др., 2003], «Минерально-сырьевая база Республики Карелия» [2005], «Минерально-сырьевые ресурсы Республики Карелия» [Голубев и др., 2011]; «Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia» [2012].

История горнорудного дела в Карелии

Заселение Севера неразрывно связано с историей освоения и использования природных ресурсов в России. Северные земли являлись составной частью древнерусского государства, возникшего в IX веке. Первые русские мореплаватели на побережье Белого и Баренцева морей, называвшихся Студеным морем, появились в X веке. Примерно с этого времени и началось освоение минерально-сырьевых ресурсов Севера, в частности, с зарождения масштабного по тем временам слюдяного промысла и производства соли-«морянки» в Поморье. «Солнечные» солеварни располагались в мелководных бухтах Белого моря, к XVIII в. по его побережью работали десятки соляных варниц, в большинстве своем принадлежавших Соловецкому монастырю. До 50 % всей соли вываривалось в деревне Ненокса (Архангельская область), где «крепость» соляных растворов была значительно выше, чем в других местах.

Существовали и более экзотические промыслы – так, на северных реках велась добыча жемчуга, а на Терском берегу Белого моря с XV века – аметиста.

Но самыми значимыми среди всех полезных ископаемых в тот период были металлы. Уже велась разработка меди, но основное внимание уделялось железу. Благодаря широкому распространению на территории Карелии озерных (болотных) железных руд, с достаточными запасами, еще в допетровское время была организована их активная добыча и переработка. Создание Петровской слободы, впоследствии города Петрозаводска, стало прямым следствием активного развития железорудного производства, инициированного Петром I в регионе.

Существует много исторических свидетельств об использовании железа местным населением. Так, деревня Костомукша (современный

горнорудный центр Республики Карелия) издавна славилась мастерами железоделательного производства. Можно обоснованно говорить, что на территории современного Костомукшского ГОКа сотни лет назад местные жители добывали болотную железную руду. Именно там были построены кузницы для получения иковки железа. Основным же местом добычи и выплавки руды являлось местечко Хейкин Ахо, где сейчас находится Центральный карьер ГОКа.

Карельская топонимика также сохранила многочисленные указания на присутствие железных руд (бобовых, корковых или монетных) в регионе. Например, часто встречаются в географических названиях топонимы Раутосуо (железное болото), Раутаваара (железная гора), Руостеоя (ржавый ручей).

Важно, что Карелия стала родиной и первого российского золота, местом, где был заложен первый в стране (в 1744 г.) золотодобывающий Воицкий рудник. На Урале золото найдут только через год, а знаменитые Березовские казенные золотые промыслы будут основаны еще позже – в 1752 году. Сохранились планы Воицкого рудника, схемы расположения главной разрабатываемой жилы. На руднике существовало несколько штолен (одна из них была с шахтой глубиной около 17 м), оборудованных передовой по тем временам системой вентиляции и подъемниками руды с использованием паровых машин. Воицкое месторождение уже в те далекие годы разрабатывалось как комплексное – медно-сульфидное. В те времена, когда еще только формировалась идеология и методология горных работ, масштаб рудных тел не имел большого значения, разрабатывались небольшие, богатые по содержанию рудные объекты. Минеральный состав рудных жил был преимущественно халькопиритовый и халькопирит-борнитовый.

Новый эпизод развития горнорудного дела в регионе связан с изучением и попытками использования высокоуглеродистых осадочных пород Заонежского полуострова – шунгитов. Практическое использование выветрелых (рыхлых) шунгитоносных пород началось с применения их в качестве смазки для осей мельничных жерновов, тележных колес и краски. Чуть позже, при Петре I, аспидный сланец (шунгит) использовался в качестве облицовочного камня при оформлении отдельных деталей архитектурных сооружений. Лишь в 1860 году, после того как академик Г. П. Гельмерсен описал древние глинистые черные сланцы Олонии, изобилующие графитом, была сформирована научная основа для всего дальнейшего исследования высокоуглеродистых пород Карелии.

Важной вехой в освоении северных «подземных кладовых» стало создание «Комиссии по изучению естественных производительных сил России» (КЕПС) в 1915 г. при Императорской Петербургской Академии наук, а также реализация в стране крупных инфраструктурных проектов – строительство Мурманской железной дороги. В ходе строительных работ в 1916 г. были вскрыты слюдоносные пегматитовые жилы. А уже в 1919 г. КЕПС была подготовлена сводка по месторождениям слюды [Гинзбург, 1919], в которой описаны как участки исторической слюдодобычи в Керетско-Кандалакшском округе, так и новые площади, и даны рекомендации по методам их обработки.

В XX веке формируется новый тренд поисковых работ. Стране нужен титан, ванадий, никель, хром и другие металлы. В 1936 году Ю. С. Неуструевым выявлен и изучен Елетьозерский дифференцированный массив с титановым оруденением, а уже после войны, в период с 1954 по 1956 г. Северо-Западным геологическим управлением проведены поисково-оценочные работы, основным результатом которых стал подсчет запасов титановых руд по категориям С1 и С2 на участке Суриваара. Позже детальное изучение геологии, петрографии и рудоносности массива проводилось сотрудниками Геологического отдела Карельского филиала АН СССР в 1954–1959 гг. [Богачев и др., 1963].

В 1934 году управлением Беломорско-Балтийского канала НКВД открыто Пудожгорское месторождение титаномагнетитовых (Ti-V-Fe) руд. Параллельно с проведением геологоразведочных работ создается Центральная химическая лаборатория, формируется дирекция будущего ГОКа, строится причальный комплекс на Онежском озере, начинается проектирование институтом «Гипроруда» металлургического комбината. Эксплуатации месторождения помешала Великая Отечественная война... Уже позже в Восточной Карелии были обнаружены Аганозерское месторождение хромовых руд, Бураковское месторождение и многие другие масштабные объекты.

За все время существования горнорудного дела в Карелии менялись приоритеты, территориальные векторы поиска и добычи сырья. Исследования смещались с Северной Карелии на восточные и западные ее части. Важный вектор развития горной отрасли связан с горным комплексом Приладожья, регионом, где активно добывалось железо, олово, серебро, графит и блочный камень – гранит, мрамор [Дорога..., 2014].

В недавнем прошлом развитию горнорудной отрасли способствовало обнаружение кианитовых проявлений в Карелии. Причем развитие эко-

номики страны полностью меняло перспективы использования кианита, от сырья для получения алюминия, силумина, до огнеупоров и керамики.

Отмеченные исторические вехи развития горнорудной отрасли во многом определили современный и закладывают будущий вектор развития Карелии, ее экономические перспективы.

Минерально-сырьевая база Карелии

Минерально-сырьевая база является основой экономического благополучия страны, донором российской экономики, обеспечивающим ее развитие и переход на новый технологический уклад [Козловский, 2015; Миронов, 2021; Горячев и др., 2022]. Начнем с того, что такое руда. Руда – это минеральное вещество, из которого технологически возможно, экономически и экологически рентабельно извлекать металлы или минералы для использования в народном хозяйстве. В мировой практике большая группа минеральных полезных ископаемых выделяется под названием «industrial minerals».

К докембрийским комплексам Фенноскандинавского щита приурочена обширная группа полезных ископаемых, локализация которых является следствием взаимодействия многих процессов, от вулканизма, магматизма, метаморфизма до тектоники. Причем ключевое значение в формировании рудных концентраций отводится геодинамическим режимам коробразования [Связь..., 2008; Онежская..., 2011; Костомукшский..., 2015; Ладожская..., 2020], затрагивающим и корово-мантийный уровень [Москалева и др., 1993; Металлогения..., 1999; Митрофанов и др., 2012; Кольская..., 2023].

В кадастр минерально-сырьевой базы Республики Карелия входят месторождения и значимые проявления металлических полезных ископаемых и промышленных минералов, локализованных в докембрийских комплексах юго-восточной и восточной части Фенноскандинавского щита (черные, цветные, благородные, урановые, редкие и редкоземельные металлы и промышленные минералы) [Журавлев и др., 2003; Минерально-сырьевая..., 2005, 2006; Mineral..., 2012; Gautneb et al., 2013; Иващенко, Щипцов, 2018; Щипцов и др., 2020]. Наиболее значимые месторождения и проявления черных, цветных, благородных металлов и урановых руд Республики Карелия отражены на схеме (рис. 1), при этом промышленные минералы, представленные самородными элементами, силикатами, кремнеземом, карбонатами, окислами, сульфидами и фторидами, будут детально рассмотрены в отдельной статье о промышленных минералах Карелии.

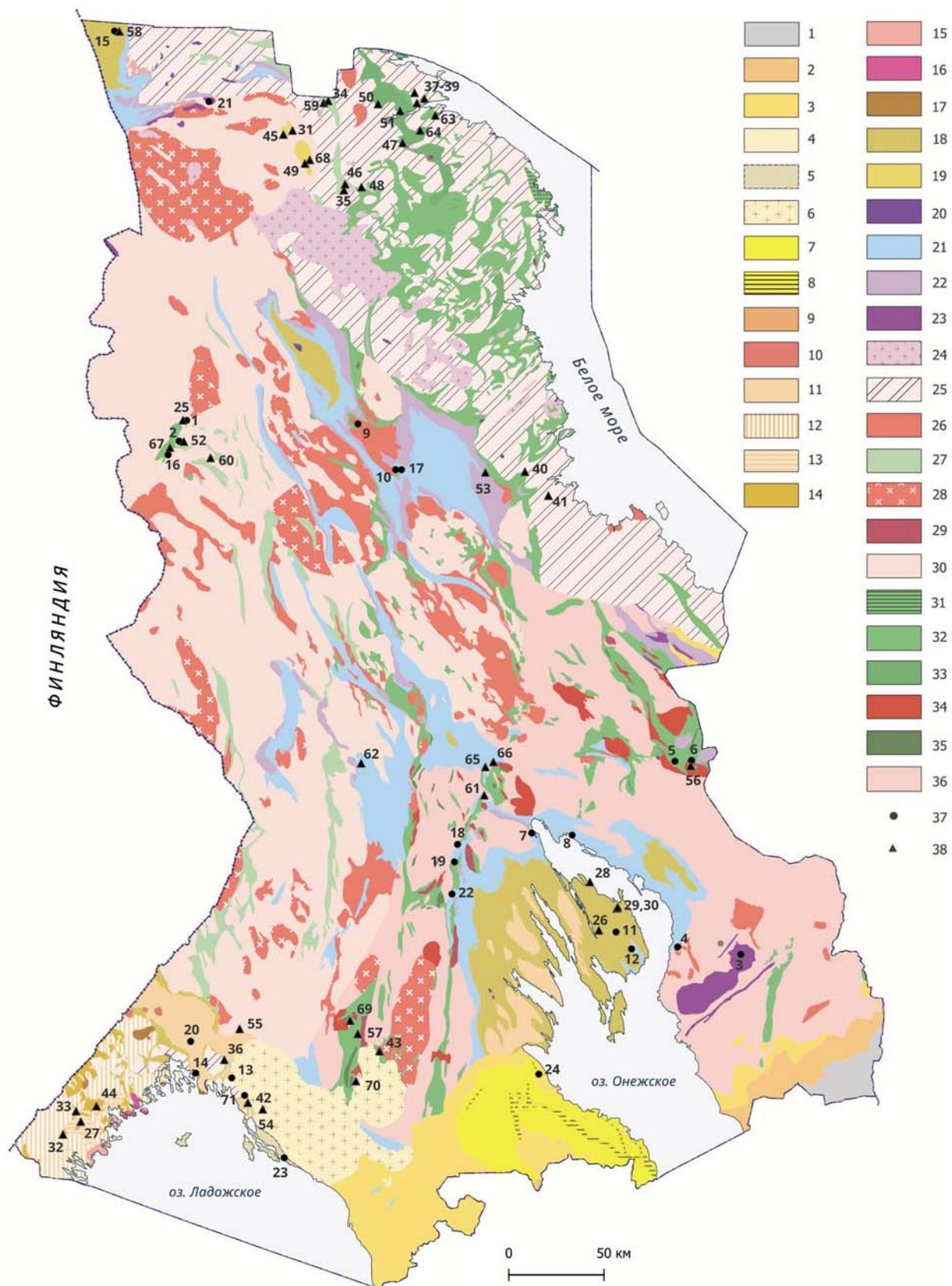


Рис. 1. Размещение месторождений и крупных проявлений металлов и промышленных минералов Республики Карелия (с использованием обзорной геологической карты Юго-Восточной Фенноскандии [Куликов и др., 2017])

Fig. 1. Location of the deposits and large occurrences of metals and industrial minerals in the Republic of Karelia (with the use of the overview geological map of Southeastern Fennoscandia [Kulikov et al., 2017])

Условные обозначения к рис. 1 / Legend for Fig. 1:

Фанерозой (< 0,54 млрд лет) Палеозой / Phanerozoic (< 0.54 Ga) Paleozoic

1 – карбон (0,36–0,3 млрд лет) песчаники, глины, доломиты, известняки / Carboniferous (0.36–0.3 Ga) sandstones, clays, dolomites, limestones

2 – девон (0,48–0,36 млрд лет) песчаники, конгломераты, глины / Devonian (0.48–0.36 Ga) sandstones, conglomerates, clays

Протерозой (2,54–0,54 млрд лет) Неопротерозой / Proterozoic (2.54–0.54 Ga) Neoproterozoic

3 – венд (0,64–0,54 млрд лет) песчаники, глины, алевролиты, аргиллиты, туффиты, конгломераты / Vendian (0.64–0.54 Ga) sandstones, clays, siltstones, mudstones, tuffites, conglomerates

4 – верхний и средний рифей (1,35–0,64 млрд лет) аргиллиты, песчаники / Upper and Middle Riphean (1.35–0.64 Ga) mudstones, sandstones

Мезопротерозой / Mesoproterozoic

5 – нижний рифей (1,65–1,35 млрд лет) аркозовые песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, базальты, андезибазальты, габбродолериты, сиениты / Lower Riphean (1.65–1.35 Ga) arkosic sandstones, siltstones, mudstones, conglomerates, basalts, basaltic andesites, gabbrodolerites, syenites

6 – нижний рифей (1,65–1,35 млрд лет) граниты рапакиви, литий-фтористые граниты, анортозиты / Lower Riphean (1.65–1.35 Ga) rapakivi granites, lithium-fluoride granites, anorthosites

Палеопротерозой / Paleoproterozoic

7 – вепсий (1,8–1,65 млрд лет) красноцветные и сероцветные кварцитопесчаники, конгломераты / Vepsian (1.8–1.65 Ga) red- and grey-colored quartzite sandstones, conglomerates

8 – вепсий (1,77–1,75 млрд лет) габбродолериты, долериты / Vepsian (1.77–1.75 Ga) gabbro-dolerites, dolerites

9 – вепсий (1,8–1,65 млрд лет) граниты (1,79 млрд лет) / Vepsian (1.8–1.65 Ga) granites (1.79 Ga)

10 – вепсий (1,8–1,65 млрд лет) монцогаббро, сиениты, калиевые граниты (1,87–1,77 млрд лет) / Vepsian (1.8–1.65 Ga) monzogabbro, syenites, potassic granites (1.87–1.77 Ga)

11 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) песчаники, алевролиты, кварциты, аргиллиты, углеродистые породы / Kalevian (1.92–1.8 Ga) sandstones, siltstones, quartzites, mudstones, carbonaceous rocks

12 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) кристаллические сланцы, биотитовые гнейсы / Kalevian (1.92–1.8 Ga) crystalline schists, biotite gneisses

13 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) гранулиты, эндербиты, чарнокиты (1,88 млрд лет) / Kalevian (1.92–1.8 Ga) granulites, enderbites, charnockites (1.88 Ga)

14 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) пироксениты, габбро, монзониты (1,89–1,88 млрд лет) / Kalevian (1.92–1.8 Ga) pyroxenites, gabbros, monzonites (1.89–1.88 Ga)

15 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) диориты, тоналиты / Kalevian (1.92–1.8 Ga) diorites, tonalites

16 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) монцодиориты, гранодиориты, граниты (1,87 млрд лет) / Kalevian (1.92–1.8 Ga) monzodiorites, granodiorites, granites (1.87 Ga)

17 – калевий (1,92–1,8 млрд лет) калиевые граниты, граниты, пегматиты (1,86–1,82 млрд лет) / Kalevian (1.92–1.8 Ga) potassium granites, granites, pegmatites (1.86–1.82 Ga)

18 – людиковый (2,1–1,92 млрд лет) базальты, пикриты, андезибазальты, габбродолериты, шунгиты, песчаники, сланцы, конгломераты, доломиты / Ludicovian (2.1–1.92 Ga) basalts, picrites, andesite-basalts, gabbro-dolerites, shungites, sandstones, shales, conglomerates, dolomites

19 – людиковый (2,1–1,92 млрд лет) феррогаббро, пироксениты, оливиниты, нефелиновые сиениты, карбонатиты (2,0 млрд лет) / Ludicovian (2.1–1.92 Ga) ferrogabbro, pyroxenites, olivinites, nepheline syenites, carbonatites (2.0 Ga)

20 – людиковый (2,1–1,92 млрд лет) перидотиты, габбро (1,98–1,96 млрд лет) / Ludicovian (2.1–1.92 Ga) peridotites, gabbro (1.98–1.96 Ga)

21 – ятулий (2,3–2,1 млрд лет) кварцитопесчаники, конгломераты, доломиты, соли, базальты, габбродолериты / Jatulian (2.3–2.1 Ga) quartzite sandstones, conglomerates, dolomites, salts, basalts, gabbrodolerites

22 – сариолий + сумий (2,5–2,3 млрд лет) конгломераты, песчаники, кварциты, аркозы, сланцы, коматиитовые базальты (2,41 млрд лет), андезибазальты, дациты, риолиты (2,44 млрд лет) / Sariolian + Sumian (2.5–2.3 Ga) conglomerates, sandstones, quartzites, arkoses, shales, komatiite basalts (2.41 Ga), basaltic andesites, dacites, rhyolites (2.44 Ga)

23 – сариолий + сумий (2,5–2,3 млрд лет) расслоенные интрузивы (2,51–2,40 млрд лет), перидотиты, пироксениты, нориты, диориты / Sariolian + Sumian (2.5–2.3 Ga) layered intrusions (2.51–2.40 Ga), peridotites, pyroxenites, norites, diorites

24 – сариолий + сумий (2,5–2,3 млрд лет) чарнокиты, граниты (2,43–2,42 млрд лет) / Sariolian + Sumian (2.5–2.3 Ga) charnockites, granites (2.43–2.42 Ga)

25 – сариолий + сумий (2,5–2,3 млрд лет) архейские образования, интенсивно переработанные в палеопротерозое / Sariolian + Sumian (2.5–2.3 Ga) Archean formations, intensively reworked in the Paleoproterozoic

Архей (3,8 – 2,5 млрд лет) Неоархей / Archean (3.8–2.5 Ga) Neoaarchean

26 – (2,7–2,6 млрд лет) гранодиориты, граниты (2,69–2,67 млрд лет) / (2.7–2.6 Ga) granodiorites, granites (2.69–2.67 Ga)

27 – (2,8–2,7 млрд лет) метаосадки, железистые кварциты и метавулканики разного состава / (2.8–2.7 Ga) metasediments, ferruginous quartzites and metavolcanics of various compositions

28 – (2,8–2,7 млрд лет) санукитоиды (2,75–2,72 млрд лет) / (2.8–2.7 Ga) sanukitoids (2.75–2.72 Ga)

29 – (2,8–2,7 млрд лет) нерасчлененные гранитоиды / (2.8–2.7 Ga) undifferentiated granitoids

30 – (2,8–2,7 млрд лет) нерасчлененные тоналиты, тронджемиты, гранодиориты архея (3,0–2,75 млрд лет) / (2.8–2.7 Ga) undifferentiated tonalites, trondhjemites, granodiorites of the Archean (3.0–2.75 Ga)

31 – (2,8–2,7 млрд лет) эколгитсодержащие комплексы / (2.8–2.7 Ga) eclogite-bearing complexes

Мезоархей / Mesoarchean

32 – (3,0–2,8 млрд лет) метаосадки, вулканики (коматииты, базальты, андезиты, дациты, риолиты) / (3.0–2.8 Ga) metasediments, volcanics (komatiites, basalts, andesites, dacites, rhyolites)

33 – (3,0–2,8 млрд лет) парагнейсы / (3.0–2.8 Ga) paragneisses

34 – (3,0–2,8 млрд лет) граниты и палеограниты / (3.0–2.8 Ga) granites and paleogranites

35 – (3,2–2,8 млрд лет) интрузивы ультрамафитов и мафитов, диориты (2,99–2,92 млрд лет) / (3.2–2.8 Ga) ultramafic and mafic intrusions, diorites (2.99–2.92 Ga)

36 – (3,2–2,8 млрд лет) древнейшие ТТГ и амфиболиты (3,3–2,9 млрд лет) / (3.2–2.8 Ga) ancient TTG and amphibolites (3.3–2.9 Ga)

37 – Месторождения и рудопроявления металлов / Deposits and ore occurrences of metals

38 – Месторождения и проявления промышленных минералов / Deposits and ore occurrences of industrial minerals

Металлы. *Черные:* железо (1) Корпанга, (2) Костомукша, (14) Велимяки; *хром* (3) Аганозеро; *титан* (4) Пудожгорское. *Цветные:* никель (5) Золотопорожское, (6) Светлоозерское; *медь* (7) Воронов Бор, (8) Восточно-Повенецкое; *молибден* (9) Пяявара, (10) Лобаш; *ванадий* (11) Средняя Падма, (12) Царевское; *олово* (13) Кительское; *Благородные:* золото (15) Майское, (16) Таловейс, (17) Лобаш 1, (18) Педролампи, (19) Эльмус, (20) Алатту; *платина* (21) Луккулайсвара, (22) Викша. *Уран* (23) Карку, (24) Птицефабрика.

Промышленные минералы. *Самородные элементы:* алмаз (25) Луупеансуо, (26) Кимозеро; *графит* (27) Ихальское, (55) Полвилампи; *шунгит* (28) Шунгское, (29) Максовское, (30) Зажогинское; *апатит* (31) Карбонатитовое, (32) Райвимиаки, (33) Кайвомяки; *гранат* (34) Униярви, (35) Высота-181, (36) Кителя; *полевой шпат пегматитовый* (37) Блинковые Варакы, (38) Хетоламбина, (39) Уракка, (40) Торлов Ручей, (41) Слюдяной Бор, (42) Люпикко, (43) Кюрьяла, (44) Яккима; *оливин* (45) Шапкоозерское; *кианит* (46) Хизоваарское; *мусковит* (47) Слюдозеро, (48) Межозерное; *полевой шпат нетрадиционный* (49) Нижнее (нефелин, полевой шпат), (50) Нижнекотозерское (анортозит), (51) Озеро Долгое (полевой шпат, кварц), (52) Костомукшское (полевой шпат), (53) Роза Лампи (микроклин), (54) Юка-Коски (полевой шпат); *тальк-магнезит, тальк* (56) Светлоозерское, (57) Игноила; *кремнезем* (58) Майское (кварц), (59) Степаново Озеро (кварц, кварциты), (60) Меломайс (кварц), (61) Фенькина Лампи, (62) Метчангъярви (кварциты), (63) Климовский (отвалы пегматитового кварца), (64) Плотина (отвалы пегматитового кварца; *тальковый камень* (65) Турган-Койван-Аллуста, (66) Каллиев-Мурененваара, (67) Озерки; *ильменит* (68) Суриваара; *пирит (серный колчедан)* (69) Хаутаваарское, (70) Нильмозерское; *флюорит* (71) Хопунваара.

Metals. *Ferrous:* iron (1) Korpanga, (2) Kostomuksha, (14) Velimäki; *chromium* (3) Aganozero; *titanium* (4) Pudozhgorskoye. *Non-ferrous:* nickel (5) Zolotoporozhskoe, (6) Svetloozerskoe; *copper* (7) Voronov Bor, (8) Vostochno-Povenetskoe; *molybdenum* (9) Pyayavara, (10) Lobash; *vanadium* (11) Srednaya Padma, (12) Tsarevskoe; *tin* (13) Kitelskoe. *Noble:* gold (15) Mayskoe, (16) Taloveys, (17) Lobash 1, (18) Pedrolampi, (19) Elmus, (20) Alattu; *platinum* (21) Lukulaisvara, (22) Viksha. *Uranium* (23) Karku, (24) Pitsefabrika.

Industrial minerals. *Naturally occurring elements:* diamond (25) Luupeansuo, (26) Kimozero; *graphite* (27) Ihalskoe, (55) Polvilampi; *shungite* (28) Shungskoe, (29) Maksovskoe, (30) Zazhoginskoe; *apatite* (31) Karbonatitovoe, (32) Raivimäki, (33) Kaivomäki; *garnet* (34) Unijärvi, (35) Vysota-181, (36) Kitelya; *feldspar (pegmatite)* (37) Blinky Varaki, (38) Hetalambina, (39) Urakka, (40) Torlov Ruchey, (41) Slyudyanoy Bor, (42) Lyupikko, (43) Kyuryala, (44) Yakkima; *olivine* (45) Shapkoozerskoye; *kyanite* (46) Khizovaarskoye; *muscovite* (47) Slyudozero, (48) Mezhozernoye; *feldspar (unconventional)* (49) Nizhneye (nepheline, feldspar), (50) Nizhnekotozerskoye (anorthosite), (51) Lake Dolgoye (feldspar, quartz), (52) Kostomukshskoye (feldspar), (53) Rosa Lampi (microcline), (54) Yuka-Koski (feldspar); *talc-magnesite, talc* (56) Svetloozerskoye, (57) Ignoila; *silica* (58) Mayskoye (quartz), (59) Stepanovo Ozero (quartz, quartzites), (60) Melomais (quartz), (61) Fenkina Lampi, (62) Metchangjärvi (quartzites), (63) Klimovsky (pegmatite quartz dumps), (64) Plotina (pegmatite quartz dumps); *talc stone* (65) Turgan-Koivan-Allusta, (66) Kallievo-Murenenvaara, (67) Ozerki; *ilmenite* (68) Surivara; *pyrite (sulphur pyrite)* (69) Hautavaara, (70) Nilmozerskoye; *fluorite* (71) Hopunvaara

Достижения в области минерагенического изучения региона отражены на многочисленных картографических изданиях, среди которых стоит отметить Карту металлов и промышленных минералов Фенноскандинавского щита, составленную в рамках международного проекта FODD – Metallogenic Map of the Fennoscandian Shield 1:2 000 000, Industrial Mineral Deposit Map of the Fennoscandian Shield 1:2 000 000, а также карту полезных ископаемых в новом переработанном издании Атласа Республики Карелия [Щипцов, 2021].

В последние годы проведена активная работа по изучению закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых в условиях постоянного обновления данных о геологическом строении и минерагеническом потенциале региона [Щипцов, 2024а, б].

Современные экономические подходы к полезным ископаемым и процессам их переработки позволяют выделять следующие состав-

ляющие минерально-сырьевой иерархии региона: непосредственно минеральное сырье, минерально-сырьевую базу и минерально-сырьевой комплекс [Щипцов, 2024а, б]. К первой группе относится минеральное сырье, представленное десятками видов полезных ископаемых, технически доступных и экономически рентабельных для промышленного использования в настоящее время или в перспективе. Минерально-сырьевая база включает более широкое понятие, охватывающее геологические территории, на которых выявлены дефицитные рудные комплексы с определенными промышленными запасами и ресурсами минерального сырья, отвечающего стандартам качества, и включающие благоприятную транспортную и социальную инфраструктуру. К подобным объектам минерально-сырьевой базы могут быть отнесены крупные рудные районы – Тикшеозерско-Елетьозерский, Хизоваарский, Толвуйский шунгитовый и Ихальский графитовый.

Минерально-сырьевой комплекс представляет собой уже совокупность отраслей промышленности и прочих сфер хозяйственной деятельности – торговли, логистики, финансов и т. д., служащих для обеспечения потребностей человечества в минеральном сырье. Структура комплексов включает геологоразведочное и горное производство, металлургию, химический и пр. передел с последовательными товарными и отдельными потоками. Ярким примером минерально-сырьевого комплекса в Карельской Арктике может служить Костомукшский рудный район [Костомукшский..., 2015], где ведется одновременная отработка Костомукшского и Корпангского месторождений железных руд силами ОАО «Карельский окатыш» и переработка руд.

В данной статье рассматривается и обобщается материал по ключевым месторождениям и крупным проявлениям черных, цветных, благородных металлов и урановых руд Республики Карелия.

Месторождения железа

Россия обладает второй в мире по объему (после Австралии) сырьевой базой железных руд. По выпуску железорудной продукции (концентратов, окатышей, агломератов и продуктов прямого восстановления железа) Россия занимает 5-е место среди стран-производителей [Государственный..., 2024].

Основным источником железорудного сырья в мире (как и в России) являются месторождения железистых кварцитов, образующие крупные железорудные районы.

Освоение крупных по запасам титаномагнетитовых месторождений сдерживается отсутствием в России промышленных технологий эффективного передела высокотитанистых титаномагнетитовых концентратов, получаемых на объектах такого типа. В 1945–1946 гг. на территории Карелии была поставлена аэромагнитная съемка общей площадью около 112 тыс. кв. км, в результате которой было открыто 40 магнитных аномалий – Костомукшская, Гимольская, Межозерская, Хедозеро-Большеозерская, Тумбареченская, Воломская, Совдозерская и другие [Костомукшский..., 2015]. Впоследствии в пределах Карельского кратона Фенноскандинавского щита, сложенного архейскими и протерозойскими комплексами пород, перекрытых маломощным чехлом четвертичных образований, с учетом геохронологических данных было определено возрастное положение гранит-зеленокаменных поясов, с которыми связано формирование разновозрастных ассоциаций железистых кварцитов (BIF-banded iron formation)

[Горьковец и др., 1981, 1991; Костомукшский..., 2015; Слабунов и др., 2023, 2024]. Например, комплекс Костомукшского гранит-зеленокаменного пояса состоит из двух стратотектонических серий: контоксской и гимольской [Горьковец и др., 1981]. В их составе выделяются разновозрастные ассоциации BIF: мезоархейская с возрастом 2,87–2,81 и 2,8–2,79, а также неархейская с возрастом 2,76–2,74 [Слабунов и др., 2023].

Железисто-кремнистые образования (железистые кварциты и магнетитовые сланцы) в ассоциации с вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными архейскими комплексами были метаморфизованы и превращены в железные руды в различных структурах. В настоящее время широко развивается модель образования BIF в результате окисления растворенного в морской воде двухвалентного железа за счет кислорода, который продуцировался цианобактериями в условиях бескислородной атмосферы, появилась гипотеза об источнике железа, связанном с подводными гидротермами, аналогами современных черных курильщиков [Bekker, Kovalick, 2021]. Это позволяет развивать представления о генезисе архейских железорудных месторождений.

В пределах Западно-Карельской и Центрально-Карельской зон Карельского кратона располагаются все железорудные месторождения с промышленными запасами железных руд и ряд мелких месторождений неархейского возраста. На рис. 2 показана схема Костомукшского рудного поля.

Костомукшское месторождение

Наиболее ранние сведения о геологическом строении Костомукшского района появились еще во второй половине XIX века. Главный этап его изучения начался с 1945 года [Открытие..., 2014]. В пределах Костомукшского рудного района выделены Костомукшское и Корпангское железорудные поля, включающие серию месторождений и проявлений железных руд.

Костомукшское месторождение разрабатывается открытым способом в границах лицензии, полученной АО «Карельский окатыш» на срок до 01.01.2035 г. ОАО «Карельский окатыш» считается одним из лучших горно-обогачительных предприятий России, входящих в состав бизнес-системы «Северсталь». Основная продукция месторождения поступает на Череповецкий металлургический комплекс.

Железорудные отложения установлены в четырех породных ассоциациях: 1) в железистых кварцитах коматиит-базальтовой ассоциации;

2) в риодацитово-железисто-кремнистой ассоциации; 3) в терригенно-хемогенной (флишевой) железисто-кремнистой ассоциации; 4) в метаморфогенной гидротермально-метасоматической ассоциации богатых руд [Костомукшский..., 2015]. На рис. 2 приводится схема геологического строения двух промышленных месторождений – Костомукшского и Корпангского (северная часть района).

При проектной производительности горно-обогатительного комбината в 24 млн тонн сырой руды в год его обеспеченность разведанными запасами месторождения оценивалась в 45 лет. Оценка прогнозных ресурсов железных руд месторождения проводилась неоднократно. В последующем основная часть прогнозных ресурсов железных руд месторождения была снята с учета в связи с отсутствием реальных перспектив их дальнейшего геологического изучения и промышленного освоения. Прогнозные ресурсы железных руд месторождения в количестве 300 млн тонн по категории Р1 были приняты научно-техническим советом Департамента природных ресурсов по Северо-Западному региону в декабре 2001 года.

По состоянию на 1 января 2024 г. Государственным балансом РФ учитываются запасы железных руд (железистые кварциты) для открытой отработки в количестве (ГКЗ 2005 г. № 1129):

- категории А+В+С1 – 677,9 тыс. тонн (ср. содержание – 32,1 %),
- категория С2 – 68 848 тыс. тонн,
- забалансовые – 1 006 935 тыс. тонн.

Выделяются три типа минеральных руд:

1. Первый тип – щелочно-амфибол-магнетитовые кварциты, содержащие 40–60 % магнетита, 30–50 % кварца и не более 10 % щелочных амфиболов (рибекит, кроссит и эгирин). Руды этого типа отличаются наиболее крупными агрегатами магнетита и характеризуются лучшей обогатимостью.

2. Второй тип – биотит-магнетитовые кварциты, содержащие не более 15 % биотита и 30–50 % магнетита, иногда до 30 % карбоната (анкерит или магнезит-доломит).

3. Третий тип – грюнерит-роговообманково-магнетитовые и грюнерит-магнетитовые кварциты, содержащие 35–50 % кварца, 20–35 % магнетита и повышенное (до 10 %) по сравнению с двумя первыми типами количество пирротина и акцессорного апатита (до 3 %).

Сера и фосфор являются вредными примесями руд. Среднее содержание железа магнетитового ($Fe_{\text{магн}}$) снижается от первого типа руд к третьему. В рудной залежи «Основная» преобладает первый природный тип руд, в залежи «Переслаивание» – второй (57 %) и третий (22 %) типы, при этом доля третьего типа возрастает

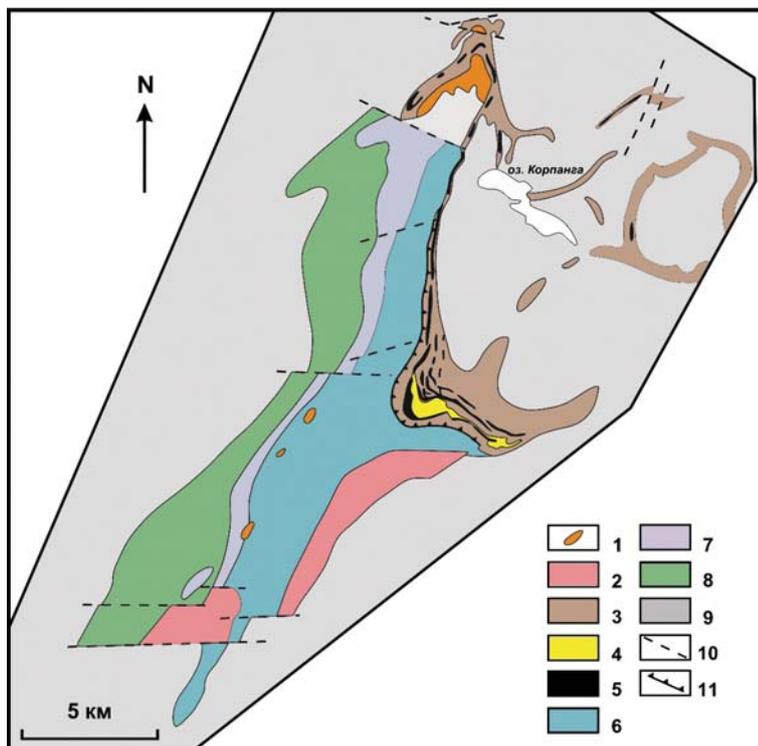


Рис. 2. Схема геологического строения Костомукшского рудного района [Слабунов и др., 2023 с авторскими изменениями]:

1 – палеопротерозойские долериты; 2 – неархейские граниты; 3–5 – породы гимольской серии; 4 – силлы и дайки метариолитов (геллефлинта); 5 – магнетитовые кварциты; 6–8 – мезоархейские: 6 – туфы, туффиты, риолит-риодациты (шурловаарская свита); 7 – базальт-коматиитовый комплекс (рувинваарская свита); 8 – базальты и коматииты (ниемиярвинская свита); 9 – гранитоиды TTG-ассоциации; 10 – разломы; 11 – надвиг

Fig. 2. Scheme of the geological structure of the Kostomuksha ore district [Slabunov et al., 2023 with authors' modifications]:

1 – Palaeoproterozoic dolerites; 2 – Neoproterozoic granites; 3–5 – rocks of the Gimoly series; 4 – sills and dykes of metarhyolites (helleflint); 5 – magnetite quartzites; 6–8 – Mesoarchean: 6 – tuffs, tuffites, rhyolite-rhyodacites (Shurlovaara Formation); 7 – basalt-komatiite complex (Ruvinkaara Formation); 8 – basalts and komatiites (Niemijärvi Formation); 9 – granitoids of TTG association; 10 – faults; 11 – thrusting

в мелких рудных телах и на выклинивании крупных тел. Руды месторождения неоднородны по содержанию железа. Среднее содержание $Fe_{\text{магн}}$ в рудах основной залежи – 27,15 %, в залежи переслаивания – 23,48 %. Среднее содержание по месторождению $Fe_{\text{общ}}$ – 32,2 %, $Fe_{\text{магн}}$ – 26,45 %, S – 0,21 %, P – 0,07 %.

Руды легкообогатимы. Обогащение осуществляется по трехстадиальной схеме мокрой магнитной сепарации, обеспечивающей получение магнетитового концентрата с содержанием железа 65,7–70 % при извлечении $Fe_{\text{общ}}$ 73,6–78,5 %, $Fe_{\text{магн}}$ 94,6–95,4 % и выходе концентрата 33,8–37,3 %. Содержание серы в концентрате – от следов до 1 %.

Архейские железисто-кремнистые образования (железистые кварциты и магнетитовые сланцы) при метаморфизме в благоприятных условиях амфиболитовой фации превращаются в богатые железные руды. Так, возраст проявления метаморфизма в породах контоксской серии оценен двумя методами – по циркону в 2674 ± 13 млн лет [Levskii et al., 2009] и в 2757 \pm 113 млн лет [Puchtel et al., 1998].

За открытие и разработку Костомукшского месторождения коллектив специалистов, внесший большой вклад, удостоен в 1985 году Государственной премии СССР в области науки и техники (Беляев К. Д., Голубев Н. Н., Егорушков А. Н., Иванов П. И., Кратц К. О., Макарова З. А., Макарьин В. И., Морозов В. В., Мошков Е. И., Патковская Н. А., Тушевский Е. Л., Хрусталев Н. Н.).

Корпангское месторождение

Месторождение находится в 19 км к северу от обогатительной фабрики. Корпангский участок как перспективный для выявления железорудного месторождения среднего размера был выделен по результатам геофизических и геологосъемочных работ. В 1974–1976 гг. на участке были проведены поисковые и оценочные работы, а в 1977–1981 гг. – детальная разведка [Минерально-сырьевая..., 2005]. Месторождение разрабатывается с 2010 г.

Породы гимольской серии, вмещающей тела железистых кварцитов, залегают в ядерной части дугообразной изоклинально-складчатой синклинали структуры с периметром более 7 км, шириной до 550 м. Месторождение представлено в основном Западной и Восточной рудными зонами, каждая из которых имеет протяженность более 3 км, при мощности от 20–45 до 220–370 м. Рудные зоны состоят из большого количества мелких, средних, параллельно и кулисообразно расположенных

тел железистых кварцитов, залегающих в кварцито-гнейсо-сланцевой толще [Костомукшский..., 2015].

Рудные тела Западной зоны падают на северо-запад под углом 28–60°, Восточной – на восток под углом 60–90°. Наиболее насыщены рудными телами южная часть Западной зоны и северная часть Восточной. Рудные тела перемежаются с кварц-биотитовыми, биотит-кварцевыми, углеродсодержащими сланцами и безрудными кварцитами, участками интенсивно мигматизированными. Продуктивная толща пронизана субсогласными и секущими жильными и дайковыми телами геллефлинов, гранитов, габбро, лампроитов, лампрофиров, сиенитов. Месторождение изучено до глубины 300 м, а по Западной зоне – до 500–600 м (рис. 3).

Состав руд месторождения преимущественно амфибол-магнетитовый с разновидностями: кроссит-магнетитовые, арфведсонит (рибекит)-магнетитовые, эгирин-магнетитовые и роговообманково-магнетитовые кварциты, в меньшей степени имеют развитие биотит-магнетитовые руды с разновидностями: грюнерит-биотит-магнетитовые, роговообманково-биотит-магнетитовые и карбонат-эпидот-биотит-магнетитовые кварциты, третий природный тип роговообманково-грюнеритовых и грюнеритовых кварцитов практически не развит. Амфибол-магнетитовые являются наиболее качественными, для них характерно содержание магнетита до 39 %, содержание $Fe_{\text{магн}}$ достигает 27,1 % [Костомукшский..., 2015].

Среднее содержание в рудах фосфора – 0,06 %, серы – 0,21 %, в том числе связанной с пирротинном 0,11 %.

Подсчет запасов железных руд выполнен по 18 наиболее крупным рудным телам в соответствии с постоянными кондициями, разработанными институтом «Гипроруда».

По состоянию на 1 января 2020 г. Государственным балансом РФ учитываются запасы железных руд (железистые кварциты) для открытой отработки в количестве (запасы железных руд месторождения утверждены протоколом ГКЗ 2005 г. № 1129):

- категории А+В+С1 – 177 784 тыс. тонн (ср. содержание железа – 32,1 %),
- категория С2 – 10 223 тыс. тонн,
- забалансовые – 165 892 тыс. тонн.

Основные показатели кондиций:

- бортовое содержание $Fe_{\text{магн}}$ в пробе – 10 %
- минимальная мощность рудных тел и максимальная мощность прослоев пустых пород, включаемых в подсчет запасов, – 5 м.

Отработка месторождения проходит открытым способом двумя карьерами: на Западном



Рис. 3. Месторождение Корпанга, карьер Западный
Fig. 3. Korpanga deposit, Western quarry

и Восточном участках. Прирост запасов возможен за счет разведки глубоких горизонтов.

По технологическим свойствам руды легкообогатимы. Высококачественные руды составляют 70 % всего объема руд в контурах карьера. Магнетит образует как тонкораспыленный агрегат зерен размером около 0,01 мм, так и агрегатные сростки размером от 0,04 до 0,25 мм. При обогащении используется трехстадийная мокрая магнитная сепарация, позволяющая получать концентрат с содержанием железа общего ($Fe_{\text{общ}}$) 68,5–71,0 % (выход концентрата 41,6–43,9 %). Извлечение $Fe_{\text{общ}}$ в концентрат составляет 88,5–93,6 %. Содержание серы находится в допустимых пределах и не превышает в исходных пробах 0,21 %, в концентрате – 0,19 %. Доля I технологического сорта руд составляет 62 %, II – 15 %, III – 23 %. Наряду с традиционным использованием в доменном производстве руды пригодны для получения суперконцентратов и металлических порошков.

Горнотехнические и гидрогеологические условия отработки месторождения благоприятны. Согласно расчетам, при годовой производительности карьера по сырой руде 17,4 млн т срок существования предприятия определяется в 28 лет.

К северо-востоку от Костомукшского железорудного месторождения известны по запасам

небольшие железорудные объекты и проявления (участок Южно-Корпангский, Северо-Костомукшское проявление и проявление Корпангйоки). Кондокское проявление железных руд (в 15 км к юго-востоку от Костомукшского месторождения) может представлять интерес в качестве резервной сырьевой базы.

Вторым после Костомукшского по масштабам железорудного проявления в Республике Карелия является Суоярвско-Гимольский рудный район, в пределах которого известен по крайней мере один перспективный для промышленного освоения объект – Межозерское месторождение [Журавлев и др., 2003].

Месторождения титана

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р титан входит в перечень стратегических видов минерального сырья. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 16.04.2024 № 939-р он внесен в перечень дефицитных видов твердых полезных ископаемых. Балансовые запасы титана в Карелии заключены в месторождениях – магматогенные в габброидных породах (ильменит-титаномагнетитовый минеральный состав). Проект может иметь статус инвестиционного проекта Республики Карелия [Государственный..., 2024].

Пудожгорское титано-магнетитовое месторождение

Месторождение расположено близ восточной береговой зоны Онежского озера и открыто в 1859 г. горным мастером Аносовым. Участие Управления ББК в освоении месторождения способствовало привлечению к этой проблеме ряда ведущих институтов СССР и крупнейших предприятий Урала (1949 г. – заводские технологические испытания). По результатам предварительной разведки 1950–1951 гг. были утверждены запасы титаномагнетитовой руды в окончательном варианте в 1952 г. Однако технологическое изучение руды продолжалось до 1966 г., а по научной тематике металлургического института (ИМЕТ АН СССР) – еще несколько десятков лет (руководитель проф. В. А. Резниченко). Исследовались титаномагнетитовые руды Пудожгорского и других аналогичных месторождений [Резниченко, Шабалин, 1986].

На основе Пудожгорского месторождения комплексных благороднометалльно-титаномагнетитовых руд (рис. 4) выделен новый рудноформационный тип – Пудожгорский, приуроченный к трапповому магматизму и флюидонасыщенным высокожелезистым расплавам, прошедшим глубинную и гипабиссальную дифференциацию [Голубев и др., 2001; Трофимов, Голубев, 2008]. По аналогичной схеме развивался и Койкарско-Святнаволоцкий рудный силл (Центральная Карелия). Основным полезным ископаемым Пудожгорского месторождения являются титаномагнетитовые (Ti-V-Fe) руды с сопутствующей минерализацией Pd, Pt и Au и ассоциирующие преимущественно с сульфидами меди. Важная особенность заключена в том, что интрузия истощена Ni, Co, Cr [Голубев и др., 2001; Трофимов, Голубев, 2008]. При металлогенической оценке района этот факт необходимо принимать во внимание.

Руды относятся к окисному малосульфидному типу. Оруденение, приуроченное к титаномагнетитовому горизонту, занимает четкое стратифицированное положение и имеет ликвационный магматический генезис [Трофимов, Голубев, 2008; Онежская..., 2011]. Минеральный состав руды по первичному парагенезису – титаномагнетит (TiO_2 – 19,5 %, V_2O_5 – 1,45 %, FeO – 73,8 %). Руды средне-, густовкрапленные. Структуры распада – субмикроскопические. Руды характеризуются низкими содержаниями вредных примесей (S, P, Cr). Запасы титаномагнетитовой руды Пудожгорского месторождения составляют по категории В+С2 316,7 млн т, содержание основных компонентов в %: TiO_2 – 8,14, V_2O_5 – 0,43, $Fe_{вал}$ – 28,9 [Онежская..., 2011].

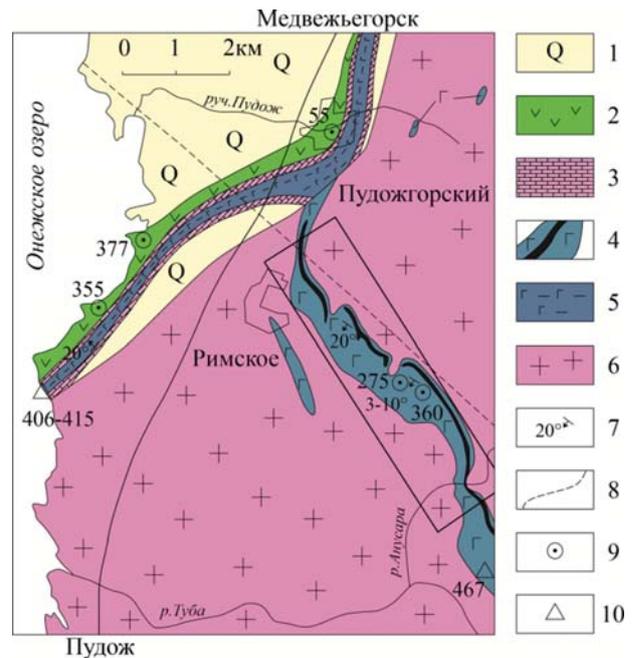


Рис. 4. Геологическая карта района Пудожгорского месторождения [Онежская..., 2011]:

1 – четвертичные отложения. Палеопротерозой. Ятулийский надгоризонт: 2–3 – вулканогенно-осадочный комплекс: 2 – эффузивы основного состава (лавы, покровы), 3 – доломиты; 4–5 – Пудожгорский интрузивный комплекс: 4 – Пудожгорский интрузив долеритов с промышленным титаномагнетитовым оруденением, 5 – Габневский силл долеритов с бедным титаномагнетитовым оруденением. Архей – палеопротерозой. Нерасчлененный комплекс: 6 – плагиограниты и микроклин-плагиоклазовые граниты и гранито-гнейсы; 7 – элементы залегания пластовой отдельности и слоистости; 8 – тектонические нарушения; 9 – поисковые буровые скважины; 10 – граница Пудожгорского месторождения

Fig. 4. Geological map of the Pudozhgorskoye deposit area [Glushanin et al., 2011]:

1 – Quaternary deposits. Paleoproterozoic. Jatulian superhorizon: 2–3 – volcanogenic-sedimentary complex: 2 – basic effusive rocks (lavas, covers), 3 – dolomites; 4–5 – Pudozhgorskoye intrusive complex: 4 – Pudozhgorskoye dolerite intrusion with industrial titanomagnetite mineralization, 5 – Gabnevskiy sill with poor titanomagnetite mineralization. Archean – Paleoproterozoic. Undifferentiated complex: 6 – plagiogranites and microcline-plagioclase granites and granite-gneisses; 7 – elements of bedding of layered jointing and foliation; 8 – tectonic faults; 9 – exploratory boreholes; 10 – boundary of the Pudozhgorskoye deposit

Морфоструктурные и конституционные особенности железных руд месторождения исследованы сотрудниками ВИМСа [Быстров и др., 2015]. При обогащении выделяется только титаномагнетитовый концентрат. Руды легкообогатимы. ИМЕТ РАН разработал энергосберегающую технологию непрерывного двухстадийного (восстановление – электроплавка) электротермического передела титаномагнетитового концентрата. Месторождение

рентабельно для открытой разработки. Вскрышные породы являются полезным ископаемым и могут использоваться как строительный камень для получения щебня [Трофимов и др., 2004]. Возраст дифференцированных интрузий Пудожского комплекса 1983–1984 млн лет.

Месторождения хрома

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р хром входит в перечень стратегических видов минерального сырья. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 16.04.2024 № 939-р он внесен в перечень дефицитных видов твердых полезных ископаемых.

Россия занимает 8-е место среди мировых производителей товарно-сырьевой хромовой продукции. При этом около трети потребностей российской промышленности в хромовом сырье удовлетворяется импортом – небольшой масштаб отечественных объектов с рудами приемлемого качества ограничивает возможности.

Основные запасы хромовых руд страны (74,1 %) сосредоточены в Карело-Кольском регионе. Здесь находится крупнейшее российское месторождение стратиформного типа — Аганозерское [Государственный..., 2024].

Бураковское месторождение

Палеопротерозойский Бураковский (Бураковско-Аганозерский) расслоенный базит-ультрабазитовый массив расположен в Заонежье, на Пудожском берегу Онежского озера, крупнейший в Евразии, площадью 630 кв. км. Массив имеет лополитообразную форму и представлен Бураковским, Шалозерским и Аганозерским блоками. Первые сведения о хромовой минерализации получены в 1956 году в результате геологосъемочных работ Карельской комплексной геологической экспедиции.

В границах Бураковского лополита располагаются Аганозерское месторождение хромовых и никелевых руд с попутной благородно-металльной минерализацией и Шалозерское проявление хромовых руд с попутной благородно-металльной минерализацией. Исследования показали, что содержание благородных металлов в рудах не превышает 1,2–1,3 г/т металлов платиновой группы (МПГ) и 0,1–0,3 г/т золота [Журавлев и др., 2003; Минерально-сырьевая..., 2005].

Необходимо отметить значительные скопления в Аганозерском блоке пород гидроталькит-серпентинитового состава, так назы-

ваемых кемиститов с никель-магнезиальной рудой, происхождение которых связывается с низкотемпературным водно-углекислотным аутометасоматическим изменением ультраосновных пород на завершающей стадии процесса серпентинизации. Кемиститы и в различной степени серпентинизированные ультрамафиты принадлежат к доминирующим образованиям. Отличительная особенность кемиститов – существенное содержание кислоторастворимых фаз никеля, магния и железа, где никель находится в кислоторастворимой форме [Горошко, 1998].

Аганозерское месторождение хромовых руд

Аганозерское месторождение расположено северо-восточнее Онежского озера, примерно в 40 км к северу от г. Пудож. К Аганозерскому блоку приурочено месторождение хромовых руд, заключающее более половины балансовых запасов руд хрома России (рис. 5), представленных низкосортными хромовыми рудами повышенной железистости. Руды Аганозерского месторождения в среднем содержат 23–26 % Cr_2O_3 , отношение Cr_2O_3/FeO находится в пределах 2–3 [Государственный..., 2024].

Хромит представляет собой сложный оксид хрома и железа Fe_2CrO_4 , входит в группу шпинели. В составе природных хромитов всегда присутствует примесь Mg, Al, реже Ti, Mn, V, при этом содержание Cr_2O_3 в руде 61–68 %. Основная роль хромита в металлургии проявляется при производстве нержавеющей стали: так, около 75 % потребления хромита и более 90 % потребления феррохрома приходится на это производство, объемы которого составляют от 1 до 2 % всей мировой выплавки стали. Количество хрома в данном типе стали варьирует от 12 до 36 %.

Оруденение на Аганозерском массиве приурочено к верхней части разреза перидотитовой подзоны (маломощные прослои и линзы) и границе ультраосновной и пироксенитовой зон Главного хромитового горизонта расслоенной серии массива. В пределах Аганозерского блока Главный хромитовый горизонт соответствует одноименному месторождению хромитовых руд. Рудное тело – шириной до 3,6 км, вытянуто с севера на юг на 8,5 км. Максимальная глубина залегания горизонта – 670 м. При бортовом содержании Cr_2O_3 истинная мощность рудного тела от 1,4 до 5,4 м, в среднем 2,5 м. Нижняя часть сложена массивными рудами, в верхней части – вкрапленные руды и далее переходят в хромитсодержащие перидотиты.

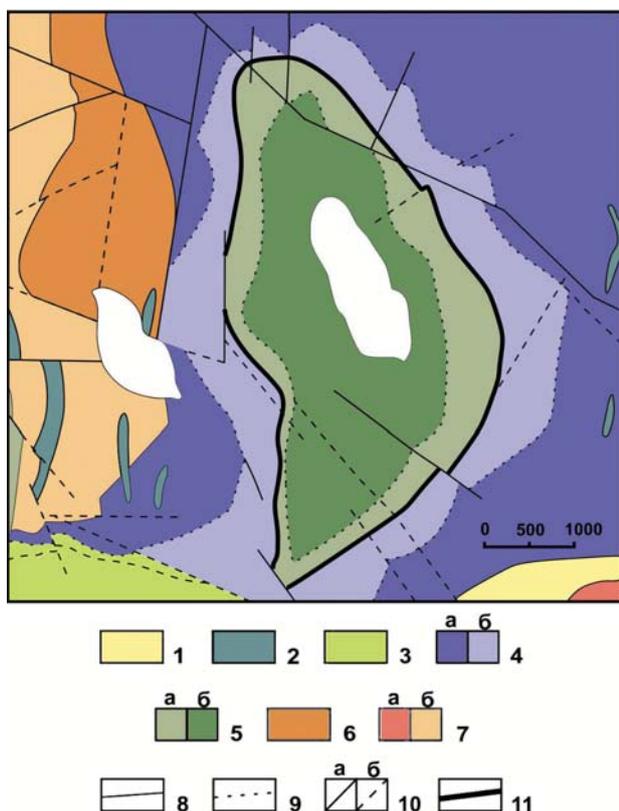


Рис. 5. Геологическая карта Аганозерского хромитового месторождения (по материалам Карельской геологоразведочной экспедиции):

1 – песчаники, алевролиты, конгломераты (котлинский горизонт); 2 – габбродолериты, лейкогаббродолериты с титаномагнетитом (Пудожгорский дайковый комплекс); 3 – габбродиориты, феррогаббронориты, пироксениты (вторая фаза); 4 – дуниты (а), перидотиты (первая фаза) (б); 5 – пироксениты (а), габбронориты, плагиоклазиты (первая фаза) (б); 6 – металавы базальтовых и перидотитовых коматиитов, коматиитовых базальтов, метабазальтов, сланцы по этим разновидностям: хлорит-биотитовые, биотитовые, биотит-амфиболовые; гнейсо-сланцы, амфиболиты (возжминская серия); 7 – водлозерский комплекс гранитов (а), диорито-гнейсы (б); 8 – границы разновозрастных стратиграфических подразделений; 9 – границы одновозрастных образований (фаз, фаций, зон, подзон) внутри подразделений; 10 – тектонические нарушения: главные (а); второстепенные (б); 11 – выход горизонта хромитовых руд на поверхность

Fig. 5. Geological map of the Aganozersky chromite deposit (based on materials of the Karelian Geological Survey Expedition):

1 – sandstones, siltstones, conglomerates (Kotlinsky horizon); 2 – gabbrodolerites, leucogabbrodolerites with titanomagnetite (Pudozhgorsky dyke complex); 3 – gabbrodiorites, ferrogabbronorites, pyroxenites (second phase); 4 – dunites (a), peridotites (first phase) (b); 5 – pyroxenites (a), gabbronorites, plagioclases (first phase) (b); 6 – metalavas of basaltic and peridotitic komatiites, komatiitic basalts, metabasalts, shales of these varieties: chlorite-biotite, biotite, biotite-amphibole; gneiss-shales, amphibolites (Vozhma series); 7 – Vodlozersky complex of granites (a), diorite-gneisses (b); 8 – boundaries of different-age stratigraphic subdivisions; 9 – boundaries of single-age formations (phases, facies, zones, subzones) within subdivisions; 10 – tectonic disturbances: major (a); minor (b); 11 – outcrop of chromite ore horizon on the surface

Поисково-оценочные и разведочные работы развернулись в полном масштабе с 1984 года, после того как были обнаружены собственно руды, содержащие хром. Запасы хромовых руд Аганозерского месторождения утверждены ГКЗ (протокол № 752 от 07.08.2002 г.) [Минерально-сырьевая..., 2005]: основное полезное ископаемое – хром, попутные – МПГ и золото. Содержание Cr_2O_3 макс. 45,28, средн. 21,79. Запасы руды по категории С1 8,111 млн т, по категории С2 18,476 млн т [Минерально-сырьевая..., 2005]. К 2008 году завершилась оценка рудника, и был составлен технологический регламент строительства горно-обогатительного комбината.

По данным ТЭО кондиций (АО «Гипроникель», 1999), отработка запасов месторождения эффективна как открытым, так и подземным (более экологически предпочтительным) способом.

Технологические исследования хромовых руд выполнялись на лабораторных пробах ВИМСом. Предложена гравитационная магнитная схема обогащения с получением концентрата с 48 % Cr_2O_3 . Извлечение триоксида хрома в концентрат составляет 70 % [Журавлев и др., 2003].

Проблема освоения хромитового месторождения тесно переплетается с перспективами использования промышленных минералов Аганозерского блока Бураковского массива, что позволяет сбалансированно подходить к оценке перспектив данного района. Решение задач комплексного и рационального использования недр неотделимо от общей программы, в которой доля промышленных минералов должна занимать достойное и экономически обоснованное место. Вопрос о доступности и ценности должен решаться параллельно с подготовкой крупного инвестиционного мегапроекта будущего в канве геолого-технологического и эколого-экономического обоснования на современном уровне [Щипцов и др., 2017].

Месторождения цветных металлов

Месторождения молибдена

Молибден входит в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р.

Молибден – серебристо-серый ковкий металл, обладающий высокой термостойкостью, легкой дегазацией, высокими значениями электро- и теплопроводности, малым коэффициентом линейного расширения, значительной прочностью, высоким модулем упругости и хорошей обрабатываемостью.

Основная область применения молибдена (около 85–90 %) – металлургическая промышленность, где его используют в качестве легирующей добавки, главным образом при производстве сталей, а также в производстве (совместно с V, W, Cu, Ni и Co) твердых, жаростойких и кислотоупорных сплавов.

Главным минералом молибденовых руд является молибденит, из которого добывается более 98 % всего молибдена. Молибденовые типы руд легко обогащаются флотационным способом, что позволяет извлекать его даже при весьма низком исходном содержании молибдена в руде. Извлекаемость обычно составляет более 80 %. В будущем динамика цен на молибденовую продукцию будет определяться уровнем и стабильностью поставок молибдена Китаем, Чили и США [Государственный..., 2024].

Месторождение молибденовых руд Лобаш

В 1980-е годы было открыто молибденовое месторождение Лобаш в Беломорском районе Республики Карелия, первое крупное месторождение докембрийского возраста [Покалов, Семенова, 1993]. Вмещающими породами являются вулканы пембозерской серии базальт-андезит-дацитового состава, слагающие борт крупной структуры, выполненной супракристалльными комплексами неархея и палеопротерозоя. Молибден-порфировое месторождение пространственно и генетически связано с незродированной интрузией порфировидных гранитов, в которой молибденовые руды размещены в эндогенном гидротермальном рудном штокверке в экзоконтактной надинтрузивной зоне, что четко изображено

на схематическом разрезе молибденового месторождения Лобаш (рис. 6). Геологическое строение рудного поля Лобаш освещено в ряде отчетов по проводимым в Лехтинской структуре и ее обрамлении поисково-оценочным работам на молибден, медь и благородные металлы под руководством геологов Карельской комплексной геологоразведочной экспедиции С. Н. Юдина, Г. Н. Пирожено, В. М. Тытыка за 1985–1998 гг.

Рудное поле локализовано на юго-восточном окончании крупного многофазного интрузивного массива. К ранней (главной) фазе относятся гранодиориты и монцограниты. Геохимия пород главной фазы, как отмечают В. А. Богачев с соавторами [2009], соответствует известково-щелочной K-Na-серии с умеренной щелочностью, глиноземистостью и железистостью [Богачев и др., 2009]. Граниты второй (поздней) фазы образуют небольшие по размерам тела порфировидных биотитовых лейкогранитов с фацией плагиогранит-порфиров в эндоконтакте. Лейкограниты формируют наиболее дифференцированную фазу плутона с редкоэлементным составом. Следствием кристаллизационной дифференциации становится относительно пониженное содержание Zr, LREE и повышенное содержание Nb, Ta, U, Th, Mo, W, Bi в породах. Данные лейкограниты сопоставимы с лейкократовыми производными гранитов ранней фазы [Богачев и др., 2009].

Постмагматические гидротермально-метасоматические процессы в ореоле гранитного массива интенсивно изменили весь комплекс вмещающих пород. Максимальные изменения вмещающих толщ проявлены над апикальной областью, не выходящей на поверхность интрузии.

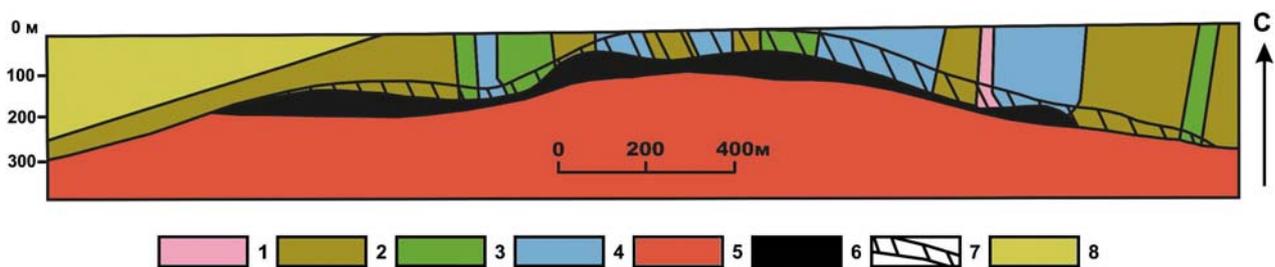


Рис. 6. Схематический разрез молибденового месторождения Лобаш [Mineral..., 2012].

Неоархей: 1 – полевошпатовые и кварцевые порфиры; 2 – метабазалты, метагаббродолериты; 3 – молибденовая руда; 4 – метадациты; 5 – гранодиориты и гранит-порфиры; 6 – обогащенные молибденом вмещающие породы; 7 – метаандезиты; 8 – туфы и метапесчаники (палеопротерозой)

Fig. 6. Schematic section across the Lobash Mo deposit [Eilu, 2012].

Neoarchaeon: 1 – feldspar and quartz porphyry; 2 – metabasalt, metagabbrodolerite; 3 – molybdenum ore; 4 – metadacite; 5 – granodiorite and granite porphyry; 6 – molybdenum-enriched host rocks; 7 – metaandesite; 8 – tuffs and metasandstones (Palaeoproterozoic)

Грейзенизация и окварцевание наиболее характерны для изменений в апикальной части гранитов [Тытык, Фролов, 2014].

Месторождение молибдена Лобаш и гранитная интрузия представляют собой единую рудно-магматическую систему с возрастом 2722–2715 млн лет. Цирконовый возраст пород ранней и поздней фаз плутона получен U-Pb методом на SIMS SHRIMP в ЦИИ ВСЕГЕИ [Богачев и др., 2009]. Петро- и геохимические особенности разных типов вмещающих пород и их изменения, которыми сопровождалось становление флюидно-рудномагматической системы Лобаш, детально рассмотрены в работе [Кулешевич, Дмитриева, 2021].

Молибденовые руды представлены двумя разновидностями – богатой гнездово-вкрапленной минерализацией в кварцевых жилах в гранитах и вкрапленно-прожилковой минерализацией (основной тип оруденения) в эпидотизированных и биотитизированных вмещающих толщах и секущих их габброидах. Месторождение представляет собой штокверк длиной 2 км при ширине 0,4–0,6 км и с вертикальным размахом оруденения длиной до 200 метров.

Установлено, что молибденовый жильно-штокверковый рудный объект обладает значительными ресурсами и запасами [Тытык, Фролов, 2014; Кулешевич, Дмитриева, 2021]. Запасы молибдена месторождения Лобаш приводятся по подсчету основной Штокверковой залежи с содержанием Mo макс. 0,6 %, средн. 0,061 % и запасами по категориям C1 56,0 и C2 71,3 тыс. т [Минерально-сырьевая..., 2005].

Разработка месторождения планируется в рамках индивидуальной программы социально-экономического развития Карелии, которая будет финансироваться, как предполагается, из федерального бюджета.

Месторождения ванадия

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р ванадий входит в перечень стратегических видов минерального сырья. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 16.04.2024 № 939-р он внесен в перечень дефицитных видов твердых полезных ископаемых.

Месторождения ванадия в Онежской структуре

Рудные объекты ванадия сконцентрированы в центральной части палеопротерозойской Онежской структуры и приурочены к черносланцевой толще людиковия (~1,97 млрд лет).

Ванадий-урановый рудный тип представлен ванадий-содержащими карбонатно-слюдистыми метасоматитами и слюдитами. В 1980–90-е годы был выявлен Онежский рудный узел с месторождениями богатых комплексных руд, к которым в первую очередь относятся перспективные рудопроявления ванадиевых (с ураном, платиноидами, золотом, серебром и другими ценными компонентами) руд – Шульгиновское, Весеннее, Средняя Падма, Верхняя Падма, Космозерское, Царевское месторождения. Геологии и вещественному составу этих объектов посвящены многочисленные публикации [Булавин, 1999; Черников и др., 2007; Кулешевич, Голубев, 2011 и др.]. Отличительными чертами строения рудного района являются широкое развитие углеродсодержащих пород людиковия, неоднократное проявление и широта распространения базальтоидного, в меньшей степени пикрит-базальтоидного вулканизма, региональный метаморфизм преимущественно в условиях фации зеленых сланцев, наличие зон складчато-разрывных дислокаций (СРД), которые и являются рудоносными. Залежи руд установлены в зонах СРД на участках, где широко проявлены процессы низкотемпературного метасоматоза. Тела метасоматитов имеют длину до 10 км при ширине 0,2–0,5 км, характеризуются очень сложным зональным строением. Радиологический возраст слудитов (U-Pb-метод по настурану) 1760 ± 30 млн лет.

Месторождение ванадия Средняя Падма

Месторождение «Средняя Падма» открыто в 1985 году при проведении поисковых работ экспедицией № 32 ПГО «Невскгеология». В дальнейшем последовательно были осуществлены поисково-оценочные работы и разведка с применением шахт и подсчетом запасов комплексных уран-благороднометалло-ванадиевых руд. Основная рудоконтролирующая структура представляет собой крутопадающую зону межпластового срыва вдоль контакта доломитов туломозерской свиты ятулийского надгоризонта и пачки алевролитов заонежской свиты людиковия (рис. 7) [Онежская..., 2011].

Общий состав руд определяется прежде всего ванадием, концентрирующимся главным образом в слюдах – роскоэлите и флогопите (около 95 %), а также в гематите, ноланите и ряде других минералов. Урановые минералы представлены преимущественно настураном, коффинитом, частично уранинитом и реже браннеритом. Золото, серебро, палладий и

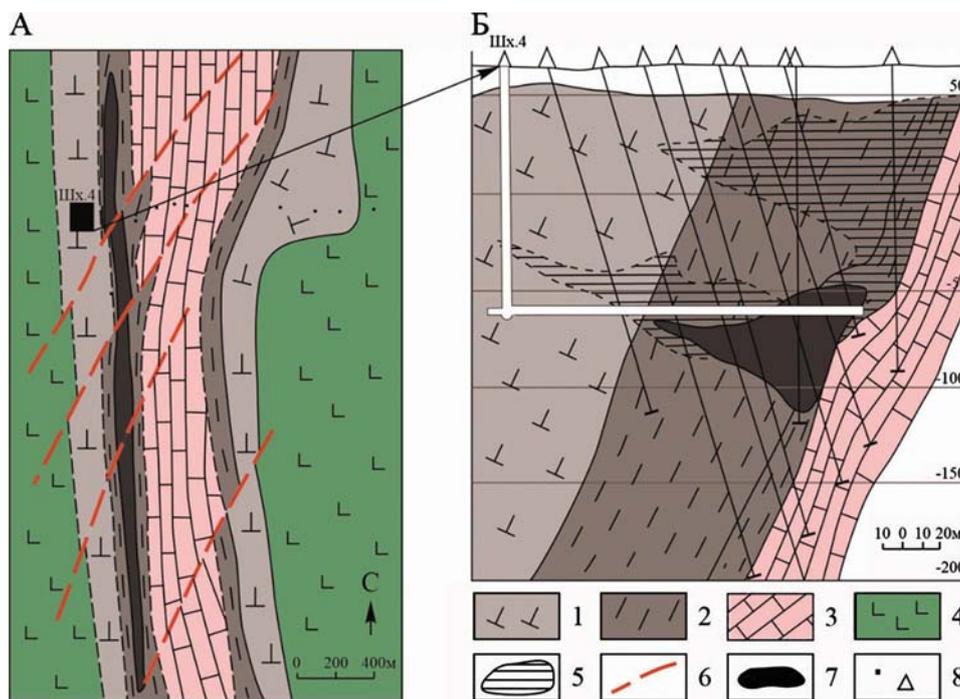


Рис. 7. Схема геологического строения месторождения Средняя Падма (А) и геологический разрез (Б) (по данным ПГО «Невскгеология»):

1 – слюдисто-карбонатные сланцы; 2 – шунгитсодержащие сланцы, алевролиты; 3 – доломиты; 4 – базальты; 5 – зоны альбитизации; 6 – разрывные нарушения; 7 – рудные залежи, 8 – скважины

Fig. 7. Scheme of the geological structure of the Srednyaya Padma deposit (based on the data of the PGA Nevskgeologiya):

1 – mica-carbonate schists; 2 – shungite-bearing schists, siltstone; 3 – dolomites; 4 – basalts; 5 – zones of albitization; 6 – fault zones; 7 – ore bodies; 8 – boreholes

платина определены в сульфидах, селеносульфидах и селенилах свинца, висмута и меди, а также в самородном виде.

Руды характеризуются очень высоким содержанием V_2O_5 – до 5 % (в среднем 2,35 %). Золото, серебро, палладий и платина определены в сульфидах, селеносульфидах и селенилах свинца, висмута и меди, а также в самородном виде. В комплексных рудах диагностировано свыше 80 рудных минералов, в т. ч. новых, обнаруженных только в рудах этого месторождения – падмаит, судоковит и селеноджуноит. Селеноджуноит обнаружен недавно, он рассматривается в качестве потенциального индикатора залежей редких металлов. Многообразие минерального и элементного состава руды является уникальным [Онежская..., 2011]. Основную ценность на месторождении Средняя Падма представляют ванадиевые руды.

На месторождении Средняя Падма балансовые запасы ванадия подсчитаны до глубины 350 м. Запасы пентоксида утверждены по категориям С1 58,77 тыс. т и С2 48,88 тыс. т

[Онежская..., 2011]. В соответствии с ТЭО кондиций бортовое содержание V_2O_5 1,0 %, минимальная мощность рудного тела 2,0 м, максимальная мощность пустых пород и некондиционных руд в рудном пересечении 4,0 м [Онежская..., 2011].

Лабораторные технологические исследования обогатимости руд проводились в 90-е годы в ВИМСе и ВНИИХТе, в результате были рекомендованы две методики их переработки: химико-металлургическая с предварительным магнито-флотационным обогащением руды и гидрометаллургическая (автоклавное сернокислотное выщелачивание) с предварительным флотационным обогащением.

Основные проблемы разработки месторождения связаны с экологическими проблемами, что неоднократно обсуждалось на разных уровнях. Значительным шагом в этом вопросе стало заключение Карельского научного центра РАН, в котором была дана полная и достоверная оценка изменения окружающей среды и определения вероятного эколого-экономи-

ческого ущерба от освоения месторождения Средняя Падма. Указывалось, что необходимо выполнить весь комплекс экологических исследований и расчетов в соответствии с действующими нормативными актами в области охраны окружающей среды и рационального природопользования [Экологические..., 2005]. На сегодняшний день никаких мероприятий в этом отношении не проводилось, что откладывает решение об использовании объекта.

Месторождения олова

Олово входит в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р.

Кительское месторождение олова

Расположено в Республике Карелия, в районе деревни Кителья, в 12 км к северо-западу от города Питкяранты. Является крупным месторождением в европейской части России. Месторождение находится в западной олово-полиметаллической подзоне Салминско-Уксинско-Кительской рудной зоны (рис. 8). В рудах Кительского месторождения среднее содержание Sn составляет 0,48 % [Государственный..., 2024].

В 1960 году Р. А. Хазов и техник-геолог А. Степанков обнаружили касситеритовое ору-

денение в керне одной из скважин в районе Кителья. По инициативе Р. А. Хазова и при поддержке руководства Карельской комплексной геологоразведочной экспедиции было составлено обоснование для проведения поисковых работ на цветные и редкие металлы в Питкярантском районе. Этот вопрос обсуждался в СЗГУ и Мингео РСФСР. Р. А. Хазов составил проект работ по Восточно-Ладужской и Кительской партиям на 1964–1967 годы. Буровыми скважинами было уточнено положение рудного тела (рудных скарнов), его размеры, что позволило определить положение разведочной шахты, которая могла прояснить перспективы оловянного месторождения. В 1969 году Р. А. Хазов, в ранге главного геолога партии, составил геолого-методическую часть проекта на проходку Кительской шахты. Шахта «Кителья» с системой штреков и ортов стала главным объектом Уксинской геологоразведочной партии Северо-Западного производственного геологического объединения «Севзапгеология» (УГРП работала с 1967 по 2014 год) (рис. 9) [Хазов, 1973].

Месторождение представлено несколькими рудными зонами, самая большая из них Южная, простирается на 1850 метров в длину и до глубины 700 метров. Оловянное оруденение локализовано в скарнах и приурочено к контакту карбонатно-сланцевой толщи питкярантской свиты сортавальской серии с гранитоидами. Основная рудная залежь, в пределах кото-

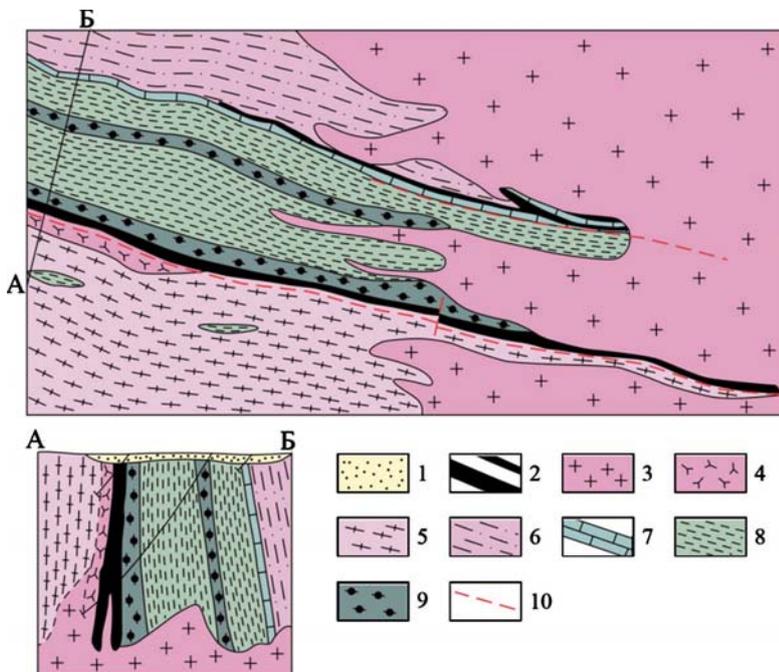


Рис. 8. Схематическая геологическая карта восточной части Кительского рудного поля и разрез А–Б [по: Хазов, 1987]: 1 – четвертичные отложения; 2 – рудные скарны; 3 – граниты второй фазы; 4 – мигматиты; 5 – плагиомикроклиновые гнейсо-граниты и метасоматиты; 6 – биотит-кварцевые сланцы и гнейсы с прослоями кварцитов; 7 – мраморизованные и скарнированные известняки с прослоями скарнов; 8 – амфиболовые сланцы и полевошпатовые амфиболиты; 9 – пачки переслаивания разнообразных сланцев, амфиболитов и маломощных прослоев скарнированных известняков; 10 – разрывные нарушения

Fig. 8. Schematic geological map of the eastern part of the Kiteleskoye ore field and section A–B [after: Khazov, 1987]:

1 – Quaternary sediments; 2 – ore skarns; 3 – second-phase granites; 4 – migmatites; 5 – plagiomicrocline gneiss granites and shadow metasediments; 6 – biotite quartz shales and gneiss shales with quartzite interlayers; 7 – marbled and skarnified limestones with skarn interlayers; 8 – amphibole shales and feldspar amphibolites; 9 – interlayer bundles of various shales, amphibolites and low-power interlayers of skarnified limestones; 10 – discontinuous disturbances



Рис. 9. Разведочная шахта, Кительское месторождение. На фото А. Степанков

Fig. 9. Exploration mine, Kitelskoye deposit. In the photo: A. Stepankov

рой выделяются несколько рудных тел, имеет сложную форму, ее мощность варьирует от 4–5 до 30 метров. Кроме олова в рудах присутствуют цинк, медь, серебро, кадмий, графит. На объекте были выделены два типа промышленных оловянных руд. Первый тип представлен гранат-пироксеновыми скарнами с магнетитом, сфалеритом и другими сульфидами с содержанием олова от 0,1 до первых процентов. Второй тип – калишпатизированные пироксен-гранатовые скарны с содержанием олова от десятых долей до десятков процентов [Хазов, 1987; Металлогения..., 1999].

Олово содержится в касситерите (75–90 %), а также в виде изоморфной примеси тонкодисперсных включений в силикатах, главным образом в гранате, амфиболе, магнетите. Этот минерал образует в руде тонкозернистую вкрапленность, представленную игольчатыми и призматическими кристаллами и колломорфными агрегатами размером от 0,1 мм до 1 см в ассоциации с гранатом, пироксеном, магнетитом.

Отмечается также сфалерит (цинковая руда) – гнездовая вкрапленность, с размерами кристаллов до 1–2 см, в ассоциации с магнетитом, халькопиритом и кальцитом. Текстура руд пятнисто-полосчатая, полосчатая, реже

массивная, структура гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, эмульсионная. Руды мелкозернистые, характерны тонкие сростания рудных и породообразующих минералов.

В 1984 году была завершена детальная разведка месторождения до глубины 340 м, запасы утверждены ГКЗ СССР. В составе скарноворудной залежи основными породообразующими минералами являются пироксены (диопсид), гранаты (андрадит-гроссулярового ряда), амфиболы (роговая обманка и тремолит-актинолит), серпентин, хлорит. К второстепенным породообразующим минералам относятся альбит, флогопит, кварц, кальцит, эпидот, везувиан. Главные рудные минералы – касситерит и сфалерит, реже встречаются станнин, самородное серебро, шеелит, галенит, халькопирит, пирротин.

Основное полезное ископаемое – олово (рудный минерал касситерит), попутные – цинк, графит, медь, серебро, кадмий, железо. Содержание олова в рудных телах (в %) максимальное 3,02, среднее 0,48. Подсчет запасов выполнен на основе постоянных кондиций, разработанных институтом «Гипроникель», и утвержден ГКЗ СССР в 1984 г. Запасы олова по категории С1 составляют 5,91 тыс. т, по категории С2 0,456 тыс. т [Минерально-сырьевые..., 2005].

Руды месторождения являются труднообогатимыми. По результатам заводских и лабораторных технологических исследований крупнообъемных проб рекомендована комбинированная схема переработки руд, включающая рентгено-радиометрическую сепарацию крупнокускового материала (извлечение олова 93,3 %) и пирометаллургический передел (фьюмингование) обогащенного продукта (извлечение олова 89,7 %).

Месторождения платины

Проявления платиноидов в Карелии связаны с несколькими типами минерализаций: малосульфидной никель-хромовой (с МПГ и золотом) минерализацией базит-гипербазитовых интрузий (Бураковской, Луккулайсваара, Ципринга), ванадий-железо-титановой сульфидно-окисной минерализацией (Пудожгорское месторождение, Койкарский массив, месторождение Викша) и уран-благороднометалльно-ванадиевой минерализацией (месторождения Средняя Падма, Царевское, Космозеро, Весеннее).

Платиноиды (МПГ) входят в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р.

Месторождение платины Викша

Месторождение Викша относится к первому промышленно перспективному платинометалльному объекту на территории Карелии, прошедшему независимую аудит-оценку компании AMC Consultants в соответствии с Кодексом JORC [Корнеев и др., 2019]. На схеме (рис. 10) показан контур лицензионной площади месторождения Викша с обозначением трех участков (Вишнеозерский, Кенти и Шарги) и контуры благороднометалльного оруденения, локализованного в северной части Койкарско-Святнаволоцкого силла, интрузирующего палеопротерозойские вулканогенно-осадочные толщи. К этому силлу приурочено титаномagnetитовое месторождение (запасы составляют 314,1 млн т с содержанием $Fe_{вал} \sim 20-47,9\%$, TiO_2 3,7–8,1 %, V_2O_5 0,13–1 % [Минерально-сырьевая..., 2005]), в составе рудных тел которого, помимо главных компонентов железа и титана, присутствуют платина, палладий и золото [Петров и др., 2023]. В этих исследованиях отражена роль жидкостной несмесимости, которая привела к накоплению благородных металлов в высокожелезистом флюидизированном ликвате в соответствии с коэффициентами распределения благородных металлов между силикатным и оксидным расплавами и между расплавом и флюидом, что позволяет выделить малосульфидный благороднометалльный тип оруденения. Наиболее распространенная благороднометалльная минерализация представлена арсенидами платины и палладия. В целом характерно видовое разнообразие минерализации.

Для подсчета запасов и ресурсов металлов платиновой группы и золота были проведены буровые работы и осуществлена проходка канав с последующим керновым и бороздовым опробованием. Выполнены технологические исследования руд месторождения.

Ниже приводятся цифровые значения содержания металлов платиновой группы и золота в благороднометалльном рифе в г/т: Pt – 0,022–0,8; Pd – 0,026–2,4; Rh – <0,003; ΣЭПГ – 0,9–3; Au – 0,008–2,3 [Олейник, Кулешевич, 2016]. Концентрации сопутствующих рудных элементов невысокие, г/т: Cu – 620–1700; Zn – 260–380; Pb – 5–8; As – 2,4–4,8; Sb – 2,26–2,5; Te – 1,5–2; Bi – ~0,2–0,3; Sn – 2–2,5. В рудах установлена положительная корреляция между содержаниями Cu и Au, Te, Re, P, REE, Be, Zr, Hf, Th [Borozdin et al., 2014], платиноидов с Au, As, Sb, Te, Sn [Олейник, Кулешевич, 2016].

Общее количество благородных металлов оценивается в 6,6 млн унций, что характеризует

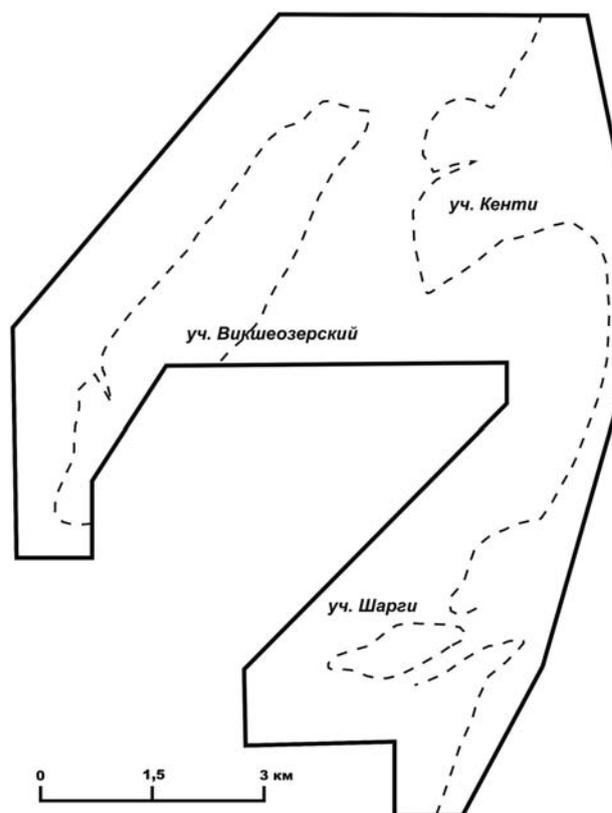


Рис. 10. Схема лицензионной площади месторождения Викша:

контур лицензионной площади – сплошная линия; контур благороднометалльного оруденения – штриховая линия [по: Корнеев и др., 2019]

Fig. 10. Scheme of the licensed area of the Viksha deposit: the contour of the licensed area – solid line; the contour of the precious metal mineralization – dashed line [Korneev et al, 2019]

Викшу как крупное месторождение металлов платиновой группы, пригодное для открытой разработки [Корнеев и др., 2019]. Оптимальная проектная глубина карьера варьирует от 240 до 305 м ниже поверхности.

Месторождение расположено в регионе с благоприятными географо-климатическими условиями, развитой инфраструктурой и достаточным количеством квалифицированной рабочей силы, в 90 км от города Петрозаводска.

Проектантами предлагается флотационная схема обогащения для производства коллективного медно-МПГ-сульфидного концентрата, который может быть переработан на аффинажных заводах по производству МПГ или на медеплавильных заводах [Корнеев и др., 2019].

В Республике Карелия ООО «Семченское золото» планирует подготовку к освоению месторождения Викша, относящегося к новому

типу собственных месторождений платины и палладия, представленному убогой вкрапленностью сульфидов меди в титаномагнетитовых рудах. Согласно ТЭО постоянных разведочных кондиций (2021 г.), годовая производительность потенциального предприятия по добыче и переработке руды составит 4,7 млн т; срок обеспеченности рудника запасами – 29 лет [Государственный..., 2024].

Вместе с тем существуют перспективы обнаружения новых промышленных объектов с благороднометалльной минерализацией.

Месторождение Луккулайсваара в структуре Куусамо-Паанаярви-Ципринга

Известно несколько перспективных рудопроявлений в расслоенных интрузивах Олангской группы (рис. 11), из которых Луккулайсваара является самым крупным (8×4 км) и наиболее хорошо изученным [Монтин, 2009]. 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. U-Pb-возраст массива Луккулайсваара по циркону 2437 ± 1 млн лет [Барков, 1992].

Массив Луккулайсваара представляет собой фрагмент изометричного тела, длина которого составляет более 8 км, а ширина 5 км. По гравиметрическим данным, подошва массива находится на глубине около 2 км. В строении массива выделяется пять серий (зон): нижняя – краевая (20–30 м), ультраосновная (600–900 м), норитовая (1200–1800 м), габброноритовая (500–900 м) и габбровая (900–1000 м) [Щипцов, Иващенко, 2018].

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) платинометалльное оруденение приурочено к норитовой

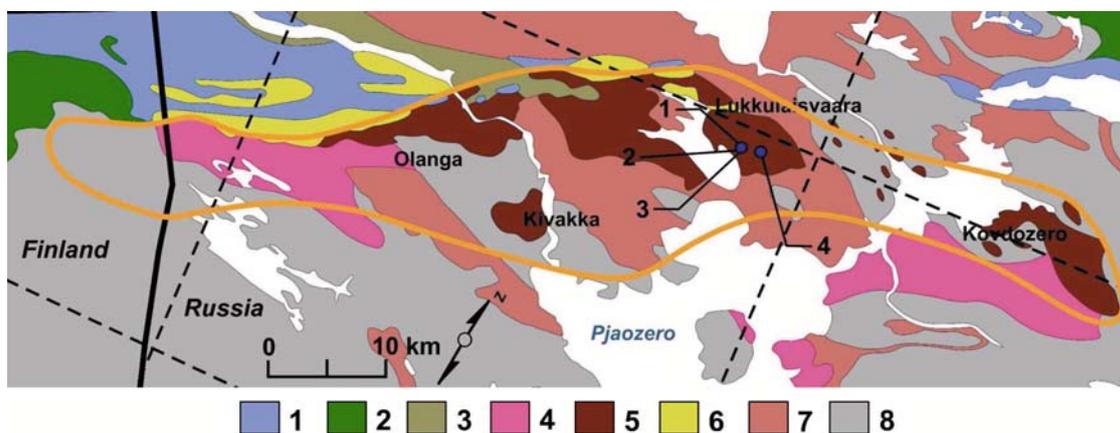


Рис. 11. Проявления платиноидов и расслоенные интрузии в субширотной рифтогенной структуре Куусамо-Паанаярви-Ципринга. Геологическая карта основана на данных [Koistinen et al., 2001]:

1–6 – протерозой: 1 – кварцит, слюдяной сланец, слюдяной гнейс, конгломерат; 2 – базальт, высокомагнийный базальт, высокомагнийный андезит, дацит, коматиитовый базальт/долерит; 3 – коматиит, базальт, андезит, риолит; 4 – гранит, кварцевый сиенит, кварцевый монзонит, монзонит, чарнокит; 5 – расслоенная интрузия: габбро, габбро-норит, анортозит, дунит, перидотит, пироксенит; 6 – риолит, дацит, граувакка, конгломерат. 7, 8 – архей: 7 – гранит, пегматит; 8 – тоналит-трондьемит-гранодиоритовый гнейс, кварц-полевошпатовый гнейс, эндербит, мигматитовый гнейс с мафическими и фельзитовыми включениями.

Элементы ЭПГ: 1. Надежда; 2. Проявление № 15; 3. Проявление № 2; 4. Восточное – Критическая Зона

Fig. 11. PGE occurrences and layered intrusions in the sublatitudinal rift structure of Kuusamo-Paanajarvi-Tsipringa. The geological map is based on [Koistinen et al., 2001]:

1–6 – Proterozoic: 1 – quartzite, mica schist, mica gneiss, conglomerate; 2 – basalt, high-Mg basalt, high-Mg andesite, dacite, komatiitic basalt/dolerite; 3 – komatiite, basalt, andesite, rhyolite; 4 – granite, quartz syenite, quartz monzonite, monzonite, charnokite; 5 – layered intrusion: gabbro, gabbro-norite, anorthosite, dunite, peridotite, pyroxenite; 6 – rhyolite, dacite, greywacke, conglomerate. 7, 8 – Archean: 7 – granite, pegmatite; 8 – tonalite-trondhjemite-granodiorite gneiss, quartz-feldspathic gneiss, enderbite, migmatic gneiss, with mafic and felsic enclaves.

PGE elements: 1. Nadezhda; 2. Occurrence no. 15; 3. Occurrence no. 2; 4. Vostochnoe – Critical Zone

серии дифференциатов и отличается необычайным разнообразием минеральных фаз и парагенезисов [Glebovitsky et al., 2001]. 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 (КЗ), в пределах которых выявлено 7 рудопроявлений. Наиболее перспективным рудопроявлением является Надежда. На участке протяженностью 560 метров рудное тело разведано по категории С1 и С2 до глубины 300 м. Содержание МПГ варьирует от 1,0 до 9,8 г/т. Мощность горизонта непостоянная и меняется от 0,3 до 5,0 м.

Разведочные работы проводило ЗАО «Норит» с целью выявления и последующего детального изучения платиноносных горизонтов.

Месторождения золота

На территории Республики Карелия установлено несколько золоторудных проявлений, имеющих высокую степень изученности.

Золотоносные проявления в Паана-Куоляярвинской структуре

В Паана-Куоляярвинской 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 (Алакуртти, Апарви, Курсунярви и др.) (рис. 12).

Ряд комплексных благороднометалльно-урановых проявлений в Паана-Куоляярвинской структуре (Озерное, Лагерное и др.) имеют повышенные содержания 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 Паана-Куоляярвинской структуры.

Золото-кварцевое месторождение Майское

Месторождение Майское было открыто в 1971 году, а с 1977 года ПГО «Севзапгеология» проводило там исследовательские работы и первые технические испытания. Добычей золота на Майском в 1993–1998 годах занималась артель старателей «Вуосна ЛТД».

Месторождение размещается в восточной краевой части Паана-Куоляярвинской структуры, сложенной породами ятулийского и людикувийского надгоризонтов нижнего протерозоя, и приурочено к субмеридиональной сдвиговой дислокации. Вмещающими породами для месторождения являются базальт-андезиты и туфы ятулия. Породы в районе месторождения метаморфизованы в фации зеленых сланцев.

Золотоносными являются кварцевожилыные зоны протяженностью 2,5–3,8 км, залегающие в основных вулканитах, претерпевших тремолитизацию, биотитизацию, альбитизацию. Месторождение представлено двумя параллельными системами крутопадающих золотоносных кварцевых жил мощностью до 5–6 м северо-восточного-субмеридионального простирания, расположенными в 240–250 м друг от друга и прослеживающимися по простиранию на 2,5 и 3,8 км. Протяженность жил в пределах месторождения – 250–300 м. Морфология жил пластинообразная линзовидная, местами четковидная с раздувами и пережимами.

Оруденение золото-кварцевого малосульфидного типа ассоциируется с мелкозернистым гранулированным кварцем. 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.

Кварцевые жилы и рудная минерализация имели магматическое и метаморфогенное происхождение, а источник рудного вещества, вероятно, был мантийным. Время формирования оруденения, определенное Re-Os-методом по золоту самородному и халькопириту, дало возраст 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 Майское крайне варьирующее – от следов до сотен г/т. Элементы-спутники золота – Cu (до 1 %), Pb (до 0,3 %), Ag (0,008 %), As (0,015 %),

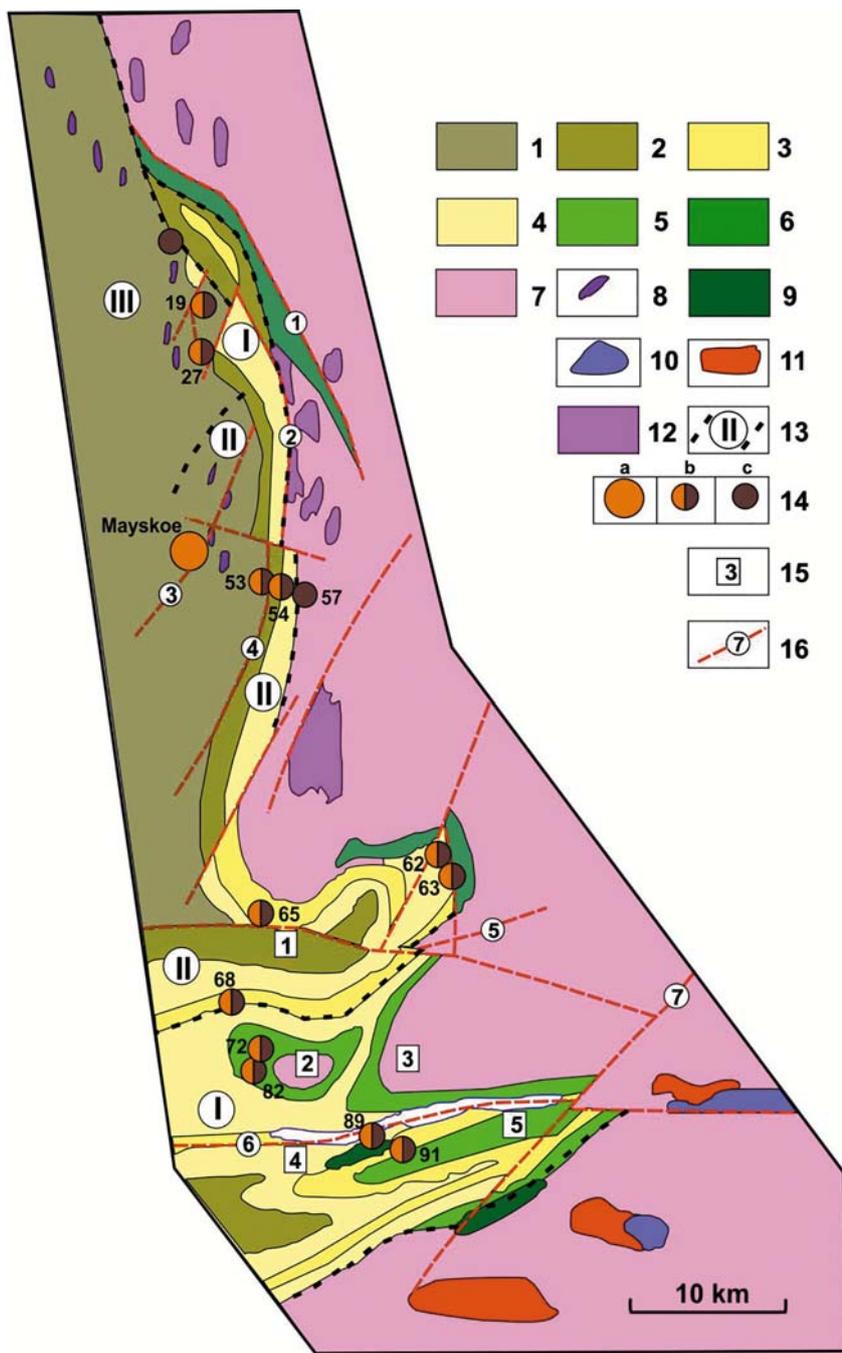


Рис. 12. Геологическая схема размещения золоторудных проявлений на российской части (Паана-Куолаярвинский прогиб) палеопротерозойского зеленокаменного пояса Куусамо (по данным Е. Н. Афанасьевой и др., 2004 [цит. по: Щипцов, Иващенко, 2018]):

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, андезитобазальты, туфы, туфоконгломераты, туфобрекчии сариолия, кварцевые порфиры, кератофиры сумия; 6 – амфиболовые, биотит-амфиболовые сланцы, амфиболиты; 7 – гнейсы, гранито-гнейсы; 8 – гипербазиты; 9 – диабазы, габбродиабазы; 10 – расслоенные перидотит-габбро-норитовые интрузии; 11 – граниты микроклиновые, плагио-микроклиновые; 12 – плагиограниты; 13 – границы структурных (структурно-металлогенических) зон: I – краевая, II – промежуточная, III – центральная; 14 – месторождения золота (а), рудопроявления золото-урановые (б), урановые (в) (5 – Апарярви, 19 – Курсунярви, 27 – Алакуртти, 53 – Лагерное, 54 – Озерное, 57 – Кварцкое, 62 – Сиеппи, 63 – Исосиеппи, 65 – Каутио, 68 – Альбит-1, 72 – Хейкинваара, 82 – Ристаниеми, 89 – Корпела, 91 – Сувалампи); 15 – крупные структуры: синклинали – Соваярвинская (1), Паанаярвинская (1), антиклинали – Рааку-Тунтури (2), Мянтью-Тунтури (3), Минаваарская (5); 16 – разрывные нарушения: Ниваярвинский (1), Восточно-Куолаярвинский (2), Центральный (3), Западно-Куолаярвинский (4), Совоярвинский (5), Паанаярвинский (6), Олангский (7)

Fig. 12. Geological scheme showing the distribution of gold occurrences in the Russian sector (Paana-Kuolajarvi depression) of the Paleoproterozoic Kuusamo greenstone belt (according to E. N. Afanasyeva et al., 2004 [quoted after: Shchiptsov, Ivashchenko, 2018]):

1 – Suisarian: basalts, picobasalts, volcanic breccia, mafic lava with thin tuff intercalations; 2 – Ludicovian: siltstones, aleuropelites, tufts, tufaceous 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, tufts, tufaceous conglomerates, tufo-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 (v) (1 – Apajärvi, 2 – Kursunjärvi, 3 – Alakurtti, 4 – Lagernoye, 5 – Ozernoye, 6 – Kvartsitovoye, 7 – Sieppi, 8 – Isosieppi, 9 – Kautio, 10 – Albit-1, 11 – Heikonvaara, 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)

Sb, Bi, Mo, W. Руда легкообогатима, свыше 90 % золота извлекается гравитационным способом. Запасы по категории С2 до глубины 30 м – 196,8 кг при среднем содержании Au 7,625 г/т [Щипцов, Иващенко, 2018].

Эльмусский золоторудный узел

Геологические исследования, проведенные на Эльмусской площади, показали, что ведущими для локализации позднеархейских более значительных золоторудных объектов являются субмеридиональные зоны рассланцевания и метасоматические преобразования пород. К ним приурочены такие рудопроявления и месторождения, как Педролампи, Восточное Орехозеро, Талпус. Вторая группа проявлений имеет связь с кислым дайковым комплексом и приурочена к зонам рассланцевания и гидротермального изменения в кислых толщах в области развития порфировых даек (Эльмус). Третья группа – это золото-содержащие колчеданные руды и зоны сульфидной минерализации [Кулешевич, Лавров, 2007, 2011].

Месторождение Педролампи

Месторождение Педролампи расположено на западном берегу небольшого озера Педролампи в 3,5 км юго-западнее оз. Орехозеро.

Объект относится к небольшим мезотермальным докембрийским рудным комплексам полистадийного генезиса с запасами золота около 0,9 т и суммарными прогнозными ресурсами до 10 т (рис. 13). Оно находится в пределах Эльмусского золоторудного узла. Специалистами «Карелнедр» эта площадь рассматривалась как одна из наиболее перспективных в регионе. В мае 2011 года компания, владевшая Эльмусской площадью, была выкуплена ОАО «Полиметалл».

Месторождение Педролампи приурочено к узлу пересечения субмеридиональной (архейской) и С3 (протерозойской) зон сдвиговых деформаций [Ручьев, 2011]. Породы, вмещающие золотое оруденение, представлены милонитизированными и лиственилизированными зелеными сланцами по основным туфам и карбонат-хлорит-серицитовыми сланцами по грауваккам, песчаникам и полимиктовым конгломератам верхней части лопийского разреза, сопоставимыми с верхней частью разреза Койкарской структуры и осадками бассейнов типа пулл-апарт.

Месторождение приурочено к субмеридиональной сдвиговой зоне рассланцевания,

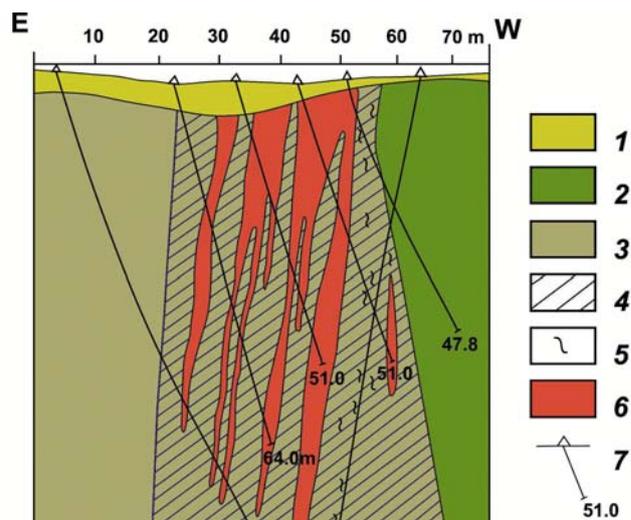


Рис. 13. Геологический разрез участка месторождения Педролампи [Mineral..., 2012]:

1 – четвертичные отложения; 2 – палеопротерозойские, ятулийские вулканогенно-осадочные породы; 3 – неоархейские, лопийские карбонат-кварц-хлоритовые, альбит-серицит-кварцевые и другие сланцы; 4 – пропилит-березитовая измененная минерализованная зона; 5 – кварцевые и кварц-карбонатные жилы; 6 – рудное тело (Au > 1 г/т); 7 – скважина на участке

Fig. 13. Geological section of the Pedrolampi field area [Eilu, 2012]:

1 – Quaternary deposits; 2 – Paleoproterozoic, Jatulian volcanic-sedimentary rock; 3 – Neoarchean, Lopian carbonate-quartz-chlorite, albite-sericite-quartz and other schists; 4 – propylite-berezite altered mineralised zone; 5 – quartz and quartz-carbonate veins; 6 – ore body (Au > g/t); 7 – borehole on the section

милонитизации и метасоматического преобразования лопийских пород семчереченской и бергаульской свит вблизи их контакта с ятулийской структурой северо-западного простирания. В западной части участка развиты metabазальты и туфы по ним. В северной части участка находятся породы, относимые к бергаульской свите и представленные метаандезитами и их туфами, в восточной – метапесчаники, серицит-хлоритовые сланцы (метаграувакки) и конгломераты, содержащие обломки гранитов, порфировых кислых даек и кварца из ранних жил. Эти осадки сопоставимы с верхним горизонтом конгломератов Койкарской структуры, выделяемых как образования пулл-апарт бассейнов [Светов, 2005].

Мезоархейские толщи в пределах участка моноклинально и круто падают на запад и несогласно перекрываются ятулийскими отложениями небольшой синклинали структуры. Отложения янгозерской свиты ятулийского надгоризонта (кварцевые конгломераты, базальты и кварциты) и в целом вся структура хорошо

выделяются в магнитном поле благодаря повышенной магнитности основных вулканитов. В протерозойской синклинали отчетливо фиксируются постятулийские субширотные сдвиги. Золото-сульфидно-кварцевая минерализация локализована вблизи контакта лопийских и ятулийских толщ.

Рудные тела в пределах продуктивной зоны выделены по содержанию золота 1 г/т (по данным Карельской геологоразведочной экспедиции). Они представляют собой вытянутые линзы или пласты, согласные с общим крутым залеганием сланцев. Руды относятся к золото-кварц-сульфидному рудно-формационному типу (золото-пиритовому и золото-халькопиритовому минеральным типам), без каких-либо значительных примесей других элементов. В них установлено содержание Au в количестве 0,1–46 г/т, Ag до 0,4–5 г/т, Pb до 0,002–0,005 %, Cu до 0,015–0,2 %, Bi до 0,015 %, МПГ до 0,11 г/т, примеси As, Te, Co, Ni и др. [Минерально-сырьевая..., 2005].

В золото-пиритовом минеральном типе главными рудными минералами являются пирит (от 5 до 30–60 % в гнездах) и золото. Пирит образует кубические, иногда незначительно уплощенные кристаллы размером 0,3–1 см (реже до 5 см) и их сростки.

Золото в пиритовых рудах выделяется как мелкое и тонкодисперсное с размером золотин 0,5–2 мм (85 %) и 0,5–0,05 мм. Форма выделения золотин – чешуйки, пластинки, реже дендриты, пленки и шнурки. Золото имеет высокую пробность 983–989 (по данным Карельской геологоразведочной экспедиции).

Золото-полиметаллическое месторождение Лобаш-1

За последние годы масштаб Лобаш-1 изменился от золото-полиметаллического рудопроявления к признанию статуса месторождения [Покалов, Семенова, 1993; Минерально-сырьевая..., 2005; Тытык, Фролов, 2014]. В 2010 году проведена переоценка месторождения, что позволило перевести его в разряд крупнообъемных комплексных золотосодержащих со средним содержанием золота 0,46 г/т и меди 0,18 %. Запасы золота по категории С2 – 34,4 т и ресурсы P1+P2 – 209,7 т; запасы меди по категории С2 – 126,2 тыс. т, ресурсы P1+P2 – 771,8 тыс. т (протокол заседания государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Роснедра РФ № 2129 от 17.02.2010).

Месторождение золота и меди приурочено к зонам рассланцевания и биотитизации на контактах даек кварц-плагиопорфиров

(дацит-риодацитов) и во вмещающих толщах – туфах среднего состава и измененных габброидах в результате свекофенских деформаций [Кулешевич и др., 2004; Тытык, Фролов, 2014]. Оно представляет собой рудоносный пологозалегающий штокверк размером 300–800 м, который прослеживается до глубины 250–300 м. Рудные тела имеют преимущественно линзовидно-пластовую морфологию со средней мощностью 0,9–1,8 м и протяженностью 20–235 м.

Урановые руды Карелии

В Онежском рудном районе Республики Карелия разведано месторождение типа «несогласия» Средняя Падма (урановая формация в альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах) со средним содержанием урана 0,067 и запасами урана по категории С1 1553 т и по категории С2 1513 т (0,4 % российских). Средняя концентрация урана в комплексных рудах этого объекта, основной компонент которых – ванадий, составляет 0,074 % [Минерально-сырьевая..., 2005]. Известно урановое проявление «Птицефабрика» под Петрозаводском. В Приладожье изучалось месторождение Карку (урановая формация в хлорит-карбонатных метасоматитах), известно много проявлений урановой минерализации, связанной с древнейшими рудопроявлениями возраста 2100–1750 млн лет, которые локализованы среди пород кристаллического фундамента, и их образование связывается в основном со свекофенской тектономагматической активизацией.

Помимо месторождения Карку в рифейских отложениях Салминской впадины установлены два урановых рудопроявления и большое количество аномалий. В Южном Приладожье выявлена серия небольших месторождений в базальных горизонтах венда. Возраст урановой минерализации этих месторождений оценивается в 400–380 млн лет, что соответствует ордовик-девонской активизации Балтийско-Мезенского тектонического пояса. Таким образом, имеются все основания рассматривать Приладожье как металлогеническую провинцию с четко проявленной урановой специализацией [Металлогения..., 1999; Минерально-сырьевая..., 2005].

Урановое месторождение Карку

Месторождение Карку открыто в 1989 году. Оно расположено около деревни Карку Питкярантского района, в северной части северо-восточного побережья Ладожского озера.

На Салминской мульде работу проводили НПО «Невскгеология» и ВИМС. Именно эти результаты использованы при оценке уранового оруденения на месторождении Карку (Северное Приладожье).

Основная масса рудных тел располагается в нижней части рифейских субплатформенных вулканогенно-осадочных отложений и контролируется поверхностью структурно-стратиграфического несогласия между рифейскими породами и кристаллическим фундаментом. Выявлена последовательность и характер рифейских катагенетических преобразований и метасоматических предрудных и рудосопровождающих изменений в осадочно-вулканогенной толще и фундаменте [Кушнеренко и др., 2004; Величкин и др., 2005].

В богатых урановых рудах резко преобладают оксиды урана трех генераций, ассоциирующие с Fe-Mg-хлоритом, кальцитом и пирротинном. Главными урановыми минералами рядовых и бедных руд являются силикаты урана. С помощью микротермометрии и Рамановской спектроскопии газо-жидких включений в минералах оценены физико-химические условия образования урановых руд. На месторождении Карку, в отличие от месторождений гидротермального класса, установлена резкая изменчивость во включениях в минералах рудной стадии температуры, состава и концентрации растворов, состава и плотности газовой составляющей (урановая формация в альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах [Кушнеренко и др., 2004].

По геолого-структурным характеристикам месторождение Карку представляет собой «карельскую» разновидность «канадского» подтипа урановорудных объектов типа «несогласия». Исследование месторождения Карку – прямого аналога богатейших рудных объектов Канады и Австралии – позволяет выработать систему поисковых критериев месторождений типа «несогласия» в Приладожье и для Фенноскандинавского щита в целом [Геология..., 2016]. Проведенные комплексные исследования позволили сделать вывод о том, что месторождение Карку обладает рядом геологических, минералогических и физико-химических общностей с уникальными урановыми месторождениями типа «несогласия» района Атабаска [Величкин и др., 2005].

Основными тектоно-магматическими фазами развития стали следующие геодинамические события: 1) становление массивов гранитов рапакиви и сопровождающих их пород (анортозитов-мангеритов-чарнокитов-гранитов рапакиви) ассоциации (1650–1500 млн лет);

2) внедрение роев диабазовых даек, силлов и проявления бимодального вулканизма и габбро-гранитных интрузивных ассоциаций (субиотний, 1640–1362 млн лет); 3) заложение грабенов, рифтогенных впадин и накопление в них терригенных осадков континентального типа (субиотний, иотний – от 1500(?) до 1270 млн лет); 4) гидротермальная деятельность, связанная с активизацией разрывных структур (1350–1318 млн лет); 5) внедрение диабазовых даек, преимущественно в пределах иотнийских осадочных бассейнов (постпотний, 1268–1258 млн лет). Как видно, этот период характеризуется тектоно-магматическими событиями рифтогенного типа [Шурилов, 2005].

На месторождении выявлены три рудные зоны, к которым относятся пять рудных залежей пластообразной неправильной формы. Размеры залежей от 400×100 до 1600×500 метров, мощность от 0,2 до 20,5 метров. Рифейская зона уранового оруденения в песчаниках и гравелитах салминской свиты нижнего рифея расположена над биотитовыми гнейсами и сланцами палеопротерозоя. Рудные концентрации урана генерируются в тектонических зонах фундамента. В рифее активизировалась циркуляция по ослабленным зонам разогретых флюидов фундамента, что и способствовало восстановлению урановых скоплений и стало источником данного месторождения. Коффинит в оруденелых песчаниках и гравелитах развит более широко, чем настуран.

Таким представляется механизм формирования богатых и основной части бедных урановых руд месторождения Карку в низах песчано-гравелитовой толщи мощностью 10–15 метров.

Установлена приуроченность рудных залежей к разрывным структурам северо-западного и меридионального направлений. Богатая урановая минерализация приурочена к зонам наложенной графитизации пород фундамента.

Основными источниками урана, представленного главным образом настураном, являлись древние погребенные концентрации, а также радиохимически специализированные породы кристаллического фундамента и терригенного покрова. Ореол бедной коффинитовой минерализации большей частью образовался в результате размыва древних руд пластовыми водами, то есть имеет гидротермальную природу. Направление миграции пластовых вод в значительной степени определялось палеорельефом фундамента. На основе сравнения месторождения Карку с эталонными урановорудными объектами типа «несогласия» подтверждается его отнесение к данному типу.

Заключение

Практическая значимость минерально-сырьевой базы месторождений металлов Республики Карелия зависит от социально-экономических условий, действующих экологических требований и, что существенно, от потребностей современного рынка. В целом минерально-сырьевая база региона опирается на месторождения и крупные рудопроявления твердых полезных ископаемых с утвержденными запасами или ресурсами категории Р1. Важную перспективу развития минерально-сырьевого комплекса формируют рудопроявления и площади с разведанными запасами и ресурсами минерального сырья различного качества, с определенной транспортной доступностью и существующей социальной инфраструктурой. В идеале минерально-сырьевая база должна включать совокупность отраслей промышленности от геологоразведочного и горного производства, металлургии до прочих сфер хозяйственной деятельности (торговля, логистика, финансы и пр.), обеспечивающих потребности человечества в минеральном сырье.

В настоящее время формируется новый вид территориального управления макрорегионом на основе опорных зон экономического развития. Особое внимание при этом должно уделяться освоению месторождений стратегических и дефицитных полезных ископаемых, на основе отбора перспективных объектов и проектов социально-экономического развития региона с учетом обеспечения экологической безопасности и климатических рисков. Все это требует разработки инвестиционных проектов в области освоения минерально-сырьевой базы с применением процедур государственных комплексной и экологической экспертиз, что будет способствовать повышению эффективности и комплексности освоения недр.

Правительство РФ распоряжением от 11 июля 2024 г. № 1838-р утвердило Стратегию развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года. В этом документе определены приоритеты, цели и задачи геологической отрасли и минерально-сырьевого комплекса, направленные на устойчивое долгосрочное обеспечение национальной экономики минеральным сырьем. Обращается внимание на то, что стратегические виды минерального сырья являются особо важными для устойчивого функционирования и стратегического развития национальной экономики, обеспечения национальной обороны и безопасности.

Все значимые полезные ископаемые подразделяются на три группы. В первую группу входят полезные ископаемые, добываемые в настоящее время, запасы которых при любых сценариях развития национальной экономики удовлетворяют ее необходимые потребности до 2035 года. Во вторую группу входят полезные ископаемые, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами на период до 2035 года. В третью группу входят импортозависимые дефицитные виды полезных ископаемых, внутреннее потребление которых в существенной степени обеспечивается ввозом.

Что касается Республики Карелия, то имеющиеся сведения по месторождениям и крупным проявлениям металлов данного региона должны учитываться при формировании и реализации государственных программ в области геологического изучения недр, воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы на федеральном и региональном уровнях. В соответствии с потребностями национальной экономики могут существенно меняться направления использования полезных ископаемых, появляться новые их источники, возникать новые стратегические вызовы, в связи с чем сведения подлежат периодическому обновлению. Определенные шаги должны быть сделаны в направлении развития юниорного геологоразведочного бизнеса и геологоразведочного сервиса.

Сегодня добыча металлов в Карелии характеризуется только одним месторождением железных руд. Действующий ГОК «Карельский окатыш» географически находится в Арктической зоне Республики Карелия. Запасы железных руд при любых сценариях развития экономики удовлетворяют ее необходимые потребности до 2035 года, но так как существующие запасы выбывают, то важным фактором становится повышение эффективности геологоразведочных работ за счет подготовки перспективных площадей для продолжения добычных работ. Такой перспективной площадью является Гимольский район.

В России существует проблема, связанная с импортозависимыми дефицитными стратегическими видами металлов. В этом отношении со счетов нельзя сбрасывать Республику Карелия, на территории которой выявлены месторождения урановых (Карку), титановых (Пудожгора, Койкары), молибденовых (Лобаш) и хромовых (Аганозеро) руд.

Не сказано последнее слово по поводу перспектив территории Республики Карелия на платину и золото (месторождение платины

Викша, проявление платины Луккулайсваара и проявления золота на участках Педролампи-Эльмус, Майское и другие). Обращаем внимание, что на государственном балансе находится единственное в европейской части России Китильское месторождение олова.

Литература

- Барков А. Ю. Петролого-геохимические особенности платиноносного расслоенного интрузива Луккулайсваара. Северная Карелия: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 1992. 24 с.
- Богачев В. А., Иваников В. В., Сергеев С. А. U-Pb SHRIMP-датирование рудоносных гранитов Лобашского молибденового месторождения (Северо-Восточная Карелия) // Минерагеня докембрия: Мат-лы Всерос. конф. (Петрозаводск, 11–13 ноября 2009). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 22–25.
- Богачев А. И., Зак С. И., Сафронова Г. П., Инина К. А. Геология и петрология Елетьозерского массива габброидных пород Карелии: геология, петрография, петрология, металлогения. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 160 с.
- Булавин А. В. Формация комплексных медь-уран-молибден-ванадиевых руд зон складчато-разрывных дислокаций Онежской структуры // Металлогения Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1999. С. 246–261.
- 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.
- Быстров И. Г., Пирогов Б. И., Якушина О. А. Морфоструктурные и конституционные особенности титаномагнетита железных руд Пудожгорского месторождения // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57, № 6. С. 546–572. doi: 10.7868/S0016777015060076
- Величкин В. И., Кушниренко В. Г., Тарасов Н. Н., Андреева О. В., Киселева Г. Д., Крылова Т. Л., Дойникова О. А., Голубев В. Н., Головин В. А. Геология и условия формирования месторождения типа «несогласия» Карку в Северном Приладожье (Россия) // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47, № 2. С. 99–126.
- Геология, геохимия и эталонные месторождения урана / Гл. ред. М. Ч. Усков. Ташкент: НИИМР, 2016. 220 с.
- Гинзбург И. И. Слюда, ее свойства, применение и распространение в России. Петроград: 1-я Гос. тип., 1919. 128 с.
- Голубев А. И., Щипцов В. В., Михайлов В. П., Глушанин Л. В. Минерально-сырьевые ресурсы Республики Карелия // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 123–134.
- Голубев А. И., Трофимов Н. Н., Петров С. В., Филиппов Н. Б. Благороднометалльная минерализация титаномагнетитовых руд Пудожгорского месторождения: технологическая характеристика, минералогия // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 4. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 48–53.
- Горошко А. Ф. Новый геолого-промышленный тип месторождений комплексного никель-магнезиального сырья в ультрамафитах Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 24–35.
- Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Белоусов Е. Ф., Инина К. А. Геология и металлогения Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск: Карелия, 1981. 143 с.
- Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Володичев О. И., Голованова Л. С. Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций Карелии. Л.: Наука, 1991. 176 с.
- Горячев Н. А., Кузьмин М. И., Ярмолюк В. В., Диденко А. Н., Петров О. В., Гладкочуб Д. П., Оганов А. Р., Кузнецова А. Н., Верниковский В. А., Шацкий В. С., Котов А. Б., Перепелов А. Б. Нужны ли геология и минеральные ресурсы Российской Федерации? // Вестник РАН. 2022. Т. 92, № 9. С. 825–836. doi: 10.31857/S0869587322090079
- Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2023 году / Гл. ред. Д. Д. Тетенькин, О. В. Казанов. М.: ВИМС, 2024. 710 с.
- Дорога горных промыслов / Отв. ред. В. А. Шенков. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. 362 с.
- Журавлев В. А., Ключникова Г. Н., Коровкин В. А., Руденко Д. Г., Турылева Л. В. Недра Северо-Запада Российской Федерации. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. 754 с.
- Иващенко В. И., Щипцов В. В. Минерагеня и минерально-сырьевой потенциал Карельской Арктики // Региональная геология и металлогения. 2018. № 74. С. 35–42.
- Калинин А. А., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А. Минерализация Se и Te в альбититах и перспективы золотоносности метасоматитов Салла-Куоляярвинской зоны Северной Карелии // ДАН. 2014. Т. 455, № 1. С. 58–61. doi: 10.7868/S0869565214070159
- Козловский Е. А. Минерально-сырьевые ресурсы в экономике мира и России. Статья 1. Минерально-сырьевой комплекс мира и России // Известия вузов. Геология и разведка. 2015. № 1. С. 53–59.
- Кольская платинометалльная провинция / Гл. ред. В. В. Адушкин. Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 193 с.
- Корнеев А. В., Вихко А. С., Фатов Н. В., Иващенко В. И. Месторождение Викша – первый крупный промышленно-перспективный платинометалльный рудный объект на территории Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 31–34. doi: 10.17580/gzh.2019.03.06
- Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерагеня) / Ред. В. Я. Горьковец, Н. В. Шаров. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 322 с.
- Кулешевич Л. В., Голубев А. И. Благороднометалльная минерализация в щелочных метасоматитах Средней Падмы Онежской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 113–126.
- Кулешевич Л. В., Дмитриева А. В. Геохимические особенности измененных пород на месторождениях

рудного поля Лобаш, Карелия // Труды Ферсмановской научной сессии. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2021. С. 239–243. doi: 10.31241/FNS.2021.18.044

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б. Месторождение Педролампи и золоторудные проявления Эльмусской площади // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 146–158.

Кулешевич Л. В., Лавров О. Б. Новые данные по минералогии золоторудных объектов Карелии // Геология Карелии от архея до наших дней. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 149–160.

Кулешевич Л. В., Тытык В. М., Коротаева Н. Н. Золото-полиметаллическое месторождение Лобаш-1 в докембрии Карелии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 111–126.

Куликов В. С., Светов С. А., Слабунов А. И., Куликова В. В., Полин А. К., Голубев А. И., Горьковец В. Я., Иващенко В. И., Гоголев М. А. Геологическая карта Юго-Восточной Фенноскандии масштаба 1:750 000: новые подходы к составлению // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 2. С. 3–41. doi: 10.17076/geo444

Кушнеренко В. К., Петров Ю. В., Пичугин В. А. и др. Геологическое строение и последовательность эпитетического минералообразования уранового месторождения Карку (Северо-Восточное Приладожье) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. Вып. 146. М., 2004. С. 11–22.

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

Металлогения Карелии / Ред. А. И. Богачев, Р. А. Хазов. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1982. 200 с.

Металлогения Карелии / Ред. С. И. Рыбаков, А. И. Голубев. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1999. 340 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. / Под ред. В. П. Михайлова, В. Н. Аминова. Петрозаводск: Карелия, 2005. Кн. 1. 278 с.; 2006. Кн. 2. 356 с.

Митрофанов Ф. П., Жиров Д. В., Баянова Т. Б. Комплексные прогнозно-поисковые критерии главной металлогенической специализации (малосульфидной Pt-Pd или сульфидной Cu-Ni) раннепротерозойских базит-гипербазитовых расслоенных массивов кристаллических щитов // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 7–14.

Миронов С. М. Проблемы недропользования и задачи государственного регулирования // Недропользование – XXI век. 2021. № 3-4(91). С. 62–65.

Монтин А. С. Платиноносность расслоенного массива Луккулайсваара в Северной Карелии // Вестник МГУ, серия Геология. 2009. № 4. С. 60–62.

Москалева В. Н., Марковский Б. А., Колбанцев Л. Р., Орлова М. П., Смолькин В. Ф. Магматизм и металлогения рифтогенных систем восточной части Балтийского щита / Отв. ред. А. Д. Щеглов. СПб.: Недра, 1993. 248 с.

Олейник И. Л., Кулешевич Л. В. благородно-металлическая минерализация Койкарского силла

// Региональная геология, минералогия и полезные ископаемые Кольского полуострова. Труды XIII Всероссийской с международным участием Ферсмановской научной сессии. Апатиты: КНЦ РАН, 2016. С. 190–194.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника и минерагения) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.

Открытие и разведка Костомукшского железорудного месторождения: учебное пособие для студентов / Сост. Н. В. Шаров. Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. 103 с.

Петров С. В., Бороздин А. П., Олейник И. Л., Тарасова И. П., Котова И. К., Котов С. Р., Шелухина Ю. С., Колушева О. С. Состав и условия формирования благороднометаллических руд Койкарско-Святоволоцкого силла (Республика Карелия) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Т. 68(2). С. 235–264. doi: 10.21639/spbu07.2023.20

Покалов В. Т., Семенова Н. В. Лобаш – первое крупное молибденовое месторождение докембрийского возраста // Геология рудных месторождений. 1993. № 3. С. 262–270.

Резниченко В. А., Шабалин Л. И. Титаномагнетиты, месторождения, металлургия, химическая технология. М.: Наука, 1986. 291 с.

Ручьев А. М. Структурные особенности разведочного участка и относительный возраст золоторудного месторождения Педролампи // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 14. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 92–112.

Светов С. А. Магматические системы зоны перехода океан-континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 229 с.

Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: Мат-лы 14-й Международной конференции / Ред. Н. В. Шаров, В. В. Щипцов, Ю. К. Щукин, А. В. Первунина, Н. А. Яблокова, Г. Н. Соколов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. Ч. 1. 311 с.

Слабунов А. И., Исаченко А. А. Литогеохимия полосчатых железистых кварцитов шурловаарской свиты Костомукшского зеленокаменного пояса (Карельский кратон) // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 6. С. 30–50. doi: 10.17076/geo1950

Слабунов А. И., Кервинен А. В., Нестерова Н. С., Егоров А. В., Максимов О. А., Медведев П. В. Главные эпизоды формирования полосчатых железистых кварцитов Костомукшского зеленокаменного пояса (Карельский кратон): данные U-Th-Pb датирования циркона // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 2. С. 5–22. doi: 10.17076/geo1749

Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Пудожгорское благороднометаллическое титаномагнетитовое месторождение. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2008. 123 с.

Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Смирнова Н. К. Комплексное использование руд и вскрышных пород Пудожгорского месторождения // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2004. С. 92–110.

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

Хазов Р. А. Геологические особенности оловянного оруденения Северного Приладожья. Л.: Наука, 1973. 87 с.

Хазов Р. А. Новое проявление оловянного оруденения в Северном Приладожье (Кительское месторождение) // Советская геология. 1987. № 8. С. 119–125.

Черников А. А., Дубинчук В. Т., Ожогин Д. О., Чистякова Н. И. Особенности нахождения и распределения благородных металлов в рудах и зоне окисления онежских уран-ванадиевых месторождений Южной Карелии // Новые данные о минералах. 2007. Вып. 42. С. 43–49.

Шурилов А. В. Геолого-структурная позиция уранового месторождения Карку (северо-восточное Приладожье): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 2005. 21 с.

Щипцов В. В. Опорные пункты стратегического и экономически важного минерального сырья Арктической зоны Российской Федерации в условиях геополитической турбулентности на севере Европы и в Арктике. Петрозаводск: ПетрГУ, 2024а. С. 142–149.

Щипцов В. В. Полезные ископаемые // Атлас Республики Карелия. Петрозаводск: Версо, 2021. С. 10.

Щипцов В. В. Экономически важные твердые полезные ископаемые Арктической зоны Республики Карелия // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Мат-лы XVIII Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2024б. Т. 1. С. 48–58.

Щипцов В. В., Бурцев И. Н., Жиров Д. В., Волошин А. В., Машин Д. О. Промышленные минералы севера европейской части России // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 6. С. 7–35. doi: 10.17076/geo1276

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

Щипцов В. В., Фролов П. В., Ильина В. П., Кевлич В. И. Минералого-технологические особенности промышленных минералов Аганозерского блока Бураковского массива // Юбилейный съезд РМО «200 лет РМО»: Мат-лы конф. СПб., 2017. Т. 2. С. 171–173.

Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма / Отв. ред. Е. П. Иешко. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2005. 110 с.

Bekker A., Kovalick A. Ironstones and iron formations // Encyclopedia of Geology (2nd ed.) / Eds. D. Anderton, S. A. Elias. Oxford: Academic Press, 2021. P. 914–921. doi: 10.1016/B978-0-08-102908-4.400199-5

Borozdin A. P., Petrov S. V., Polekhovskiy Yu. S., Tarasova I. P., Bulavin A. V., Oleynik I. L., Bederova L. L. The mineral assemblage of Au-PGE-Cu-V-Ti-Fe ores in the Vikshozero ore occurrence (Koikar sill, South Karelia, Russia) // Proceedings of the 12th international Platinum Symposium. Abstracts. Yekaterinburg: UB RAS, 2014. P. 63–54.

Gautneb H., Ahtola T., Bergman T., Gonzalez J., Hallberg A., Litvinenko V., Shchiptsov V., Voytekhovskiy Y. Industrial minerals deposits map of the Fennoscandian Shield / Ed. Eric Jonsson et al. // 12th Biennial SGA Meeting. Mineral deposit research for a high-tech world. Proceedings. Uppsala: Elanders Sverige AB, 2013. Vol. 4. P. 1767–1769.

Glebovitsky V. A., Semenov V. S., Belyatsky B. V., Koptev-Dvornikov E. V., Pohelintseva N. F., Kireev B. S., Koltson A. B. The structure of the Lukkulaisvaara intrusion, Olanka, Northern Group, Northern Karelia: petrological implications // Can. Mineral. 2001. Vol. 39. P. 607–637.

Koistinen T., Stephens M. B., Bogatchev V., Nordgulen O., Wennerström M., Korhonen J. Geological map of Fennoscandian Shield, scale 1:2 000 000 / Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden and the North-West Department of Natural Resources of Russia. Trondheim, 2001.

Levskii L. K., Skublov S. G., Gembitskaya I. M. Isotopic-geochemical study of zircons from metabasites of the Kontokki dike complex: age of regional metamorphism in the Kostomuksha structure // Petrology. 2009. Vol. 17(7). P. 669–683. doi: 10.1134/S08669591.109070030

Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia / Ed. P. Eilu. Espoo: Geological Survey of Finland, 2012. 401 p.

Puchtel I. B., Hofmann A. W., Mozger K., Jouchum K. P., Shchipansky A. A., Samsonov A. V. Oceanic plateau model for continental crust growth in the Archean: A case study from Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield // Earth Planet Sci. Lett. 1998. Vol. 155. P. 57–74. doi: 10.1016/S0012-821X(97)00202-1

References

Adushkin V. V. (ed.). Kola platinum-metal province. Apatity: KNTs RAN; 2023. 193 p. (In Russ.)

Barkov A. Yu. Petrological and geochemical features of the platinum-bearing layered intrusion of the Lukkulaisvaara. Northern Karelia: Summary of PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. Moscow; 1992. 24 p. (In Russ.)

Bekker A., Kovalick A. Ironstones and iron formations. D. Anderton, S. A. Elias (eds.). Encyclopedia of Geology (2nd ed.). Oxford: Academic Press; 2021. P. 914–921. doi: 10.1016/B978-0-08-102908-4.400199-5

Bogachev V. A., Ivanikov V. V., Sergeev S. A. U–Pb SHRIMP dating of ore-bearing granites of the Lobash molybdenum deposit (North-Eastern Karelia). *Minerageniya dokembriya: Mat-ly Vseros. konf. (Petrozavodsk, 11–13 noyabrya 2009) = Precambrian minerageny: Proceed. of the All-Russian conf. (Petrozavodsk, Nov. 11–13, 2009)*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2009. P. 22–25. (In Russ.)

Bogachev A. I., Khazov R. A. (eds.). Metallogeny of Karelia. Petrozavodsk: KF AN SSSR; 1982. 200 p. (In Russ.)

Bogachev A. I., Zak S. I., Safronova G. P., Inina K. A. Geology and petrology of the Elet'ozero massif of gabbroic rocks of Karelia: geology, petrography, petrology, metallogeny. – Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1963. 160 p. (In Russ.)

Borozdin A. P., Petrov S. V., Polekhovskiy Yu. S., Tarasova I. P., Bulavin A. V., Oleynik I. L., Bederova L. L. The mineral assemblage of Au-PGE-Cu-V-Ti-Fe ores in the Vikshozero ore occurrence (Koikar sill, South Karelia, Russia). *Proceedings of the 12th international Platinum Symposium. Abstracts*. Yekaterinburg: UB RAS; 2014. P. 63–54.

Bulavin A. V. Formation of complex copper-uranium-molybdenum-vanadium ores of fold-fault dislocation zones of the Onega structure. *Metallogeniya Karelii = Metallogeny of Karelia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 1999. P. 246–261. (In Russ.)

Bushmin S. A., Belyatsky B. V., Krymsky R. Sh., Glebovitskii V. A., Buiko A. K., Savva E. V., Sergeev S. A. Isochronous Re-Os age of gold from the Mayskoye vein gold-quartz deposit (Northern Karelia, Baltic Shield). *Doklady Akademii nauk = Doklady Earth Sciences*. 2013;448(1):76–79. (In Russ.)

Bystrov I. G., Pirogov B. I., Yakushina O. A. Morphostructural and constitutional features of titanomagnetite in iron ore of the Pudozhgorsky deposit. *Geology of Ore Deposits*. 2015;57(6):496–521. doi: 10.1134/S1075701515060070

Chernikov A. A., Dubinchuk V. T., Ozhogin D. O., Chistyakova N. I. Features of the occurrence and distribution of noble metals in the ores and oxidized zone of the Onega uranium-vanadium deposits, South Karelia. *Novye dannye o mineralakh = New Data on Minerals*. 2007;42:43–49. (In Russ.)

Eilu P. (ed.). Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia Espoo: Geological Survey of Finland; 2012. 401 p.

Gautneb H., Ahtola T., Bergman T., Gonzalez J., Hallberg A., Litvinenko V., Shchiptsov V., Voytekhovskiy Y. Industrial minerals deposits map of the Fennoscandian Shield. *12th Biennial SGA Meeting. Mineral deposit research for a high-tech world. Proceedings*. Uppsala: Elanders Sverige AB; 2013. Vol. 4. P. 1767–1769.

Ginzburg I. I. Mica, its properties, application and distribution in Russia. Petrograd: 1st Gos. tip.; 1919. 128 p. (In Russ.)

Glebovitsky V. A., Semenov V. S., Belyatsky B. V., Koptev-Dvornikov E. V., Pchelintseva N. F., Kireev B. S., Koltson A. B. The structure of the Lukkulaivaara intrusion, Olanka, Northern Group, Northern Karelia: petrological implications. *Can. Mineral*. 2001;39:607–637.

Glushanin L. V., Sharov N. V., Shchiptsov V. V. (eds.). Onega Paleoproterozoic structure (geology, tectonics, and minerageny). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. 431 p. (In Russ.)

Golubev A. I., Shchiptsov V. V., Mikhailov V. P., Glushanin L. V. Mineral resources of the Republic of Karelia. *Geologiya Karelii ot arkheya do nashikh dnei = Geology of Karelia from the Archean to the present day*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. (In Russ.)

Golubev A. I., Trofimov N. N., Petrov S. V., Filipov N. B. Precious metal mineralization of titanomagnetite ores of the Pudozhgorskoye deposit: technological characteristics, mineralogy. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 4. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2001. P. 48–53. (In Russ.)

Goroshko A. F. New geological and industrial type of deposits of complex nickel-magnesian raw materials in ultamafites of Karelia. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 1998. P. 24–35. (In Russ.)

Gor'kovets V. Ya., Raevskaya M. B., Belousov E. F., Inina K. A. Geology and metallogeny of the Kostomuksha iron ore deposit. Petrozavodsk: Karelia; 1981. 143 p. (In Russ.)

Gor'kovets V. Ya., Raevskaya M. B., Volodichev O. I., Golovanova L. S. Geology and metamorphism of ferruginous-siliceous formations of Karelia. Leningrad: Nauka; 1991. 176 p. (In Russ.)

Gor'kovets V. Ya., Sharov N. V. (eds.). Kostomuksha ore region (geology, deep structure and minerageny). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. 322 p. (In Russ.)

Goryachev N. A., Kuz'min M. I., Yarmolyuk V. V., Didenko A. N., Petrov O. V., Gladkochub D. P., Oganov A. R., Kuznetsova A. N., Vernikovskii V. A., Shatskii V. S., Kotov A. B., Perepelov A. B. Are geology and mineral resources of the Russian Federation needed? *Vestnik RAN = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2022;92(9):825–836. (In Russ.). doi: 10.31857/S0869587322090079

Ieshko E. P. (ed.). Ecological problems of development of the Srednyaya Padma deposit. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2005. 110 p. (In Russ.)

Ivashchenko V. I., Shchiptsov V. V. Minerageny, mineral and raw material potential of Arctic Karelia. *Regional'naya geologiya i metallogeniya = Regional Geology and Metallogeny*. 2018;74:35–42. (In Russ.)

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. *Doklady Earth Sciences*. 2014;455(1):229–232. doi: 10.1134/S1028334X14030039

Khazov R. A. Geological features of tin mineralization in Northern Priladozhye. Leningrad: Nauka; 1973. 87 p. (In Russ.)

Khazov R. A. New manifestation of tin mineralization in Northern Priladozhye (Kitelskoye deposit). *Sovetskaya geologiya = Soviet Geology*. 1987;8: 119–125. (In Russ.)

Koistinen T., Stephens M. B., Bogatchev V., Nordgulen O., Wennerström M., Korhonen J. Geological map of Fennoscandian Shield, scale 1:2 000 000. Trondheim; 2001.

Korneev A. V., Vikhko A. S., Fatov N. V., Ivashchenko V. I. The Viksha deposit is the first large industrially promising platinum-metal ore object in Karelia. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2019;3:31–34. (In Russ.). doi: 10.17580/gzh.2019.03.06

Kozlovsky E. A. Mineral resources in Russian and world economy. Article 1. Russian and world mineral resources sector. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka = Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 2015;1:53–59. (In Russ.)

Kuleshevich L. V., Dmitrieva A. V. Geochemical features of altered rocks at the deposits of the Lobash ore field, Karelia. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii = Proceedings of the Fersman scientific session*. Apatity: KNTs RAN; 2021. P. 239–243. (In Russ.). doi: 10.31241/FNS.2021.18.044

Kuleshevich L. V., Golubev A. I. Noble metal mineralization in alkaline metasomatites of the Middle Padma of the Onega structure. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 14. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. P. 113–126. (In Russ.)

Kuleshevich L. V., Lavrov O. B. New data on the mineralogy of gold ore objects of Karelia. *Geologiya Karelii ot arkheya do nashikh dnei = Geology of Karelia from the Archean to the present day*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. P. 149–160. (In Russ.)

Kuleshevich L. V., Lavrov O. B. Pedrolampi deposit and gold ore occurrences of the Elmus area. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 10. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2007. P. 146–158. (In Russ.)

Kuleshevich L. V., Tytyk V. M., Korotaeva N. N. Lobash-1 gold-polymetallic deposit in the Precambrian of Karelia. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 7. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2004. P. 111–126. (In Russ.)

Kulikov V. S., Svetov S. A., Slabunov A. I., Kulikova V. V., Polin A. K., Golubev A. I., Gor'kovets V. Ya., Ivashchenko V. I., Gogolev M. A. Geological map of Southeastern Fennoscandia (scale 1:750 000): a new approach to map compilation. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2017. № 2. P. 3–41. (In Russ.). doi: 10.17076/geo444

Kushnerenko V. K., Petrov Yu. V., Pichugin V. A. et al. Geological structure and sequence of epigenetic mineral formation of the Karku uranium deposit (Northeastern Priladozhye). *Materialy po geologii mestorozhdenii urana, redkikh i redkozemel'nykh metallov = Materials on the geology of uranium, rare and rare earth metal deposits*. Iss. 146. Moscow; 2004. P. 11–22. (In Russ.)

Levskii L. K., Skublov S. G., Gembitskaya I. M. Isotopic-geochemical study of zircons from metabasites of the Kontokki dike complex: age of regional metamorphism in the Kostomuksha structure. *Petrology*. 2009;17(7):669–683. doi: 10.1134/S08669591.109070030

Mikhailov V. P., Aminov V. N. (eds.). Mineral resource base of the Republic of Karelia. Petrozavodsk: Karelia; 2005. Book 1. 278 p.; 2006. Book 2. 356 p. (In Russ.)

Mironov S. M. Problems of subsoil use and tasks of state regulation. *Nedropol'zovanie – XXI vek = Subsoil Use – XXI Century*. 2021;3-4(91):62–65. (In Russ.)

Mitrofanov F. P., Zhiron D. V., Bayanova T. B. Complex prognostic and prospecting criteria of the main metallogenic specialization (low-sulfide Pt-Pd or sulfide Cu-Ni) of Early Proterozoic basic-ultrabasic layered massifs of crystalline shields. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Bulletin of the KSC RAS*. 2012;1:7–14. (In Russ.)

Montin A. S. Platinum content of the layered massif Lukkulaivaara in Northern Karelia. *Vestnik MGU, seriya Geologiya = Bulletin of Moscow State University. Ser. Geology*. 2009;4:60–63. (In Russ.)

Moskaleva V. N., Markovskii B. A., Kolbantsev L. R., Orlova M. P., Smol'kin V. F. Magmatism and metallogeny of riftogenic systems of the eastern part of the Baltic Shield. St. Petersburg: Nedra; 1993. 248 p. (In Russ.)

Oleinik I. L., Kuleshevich L. V. Noble metal mineralization of the Koykar sill. *Regional'naya geologiya, mineralogiya i poleznye iskopaemye Kol'skogo poluostrova. Trudy XIII Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem Fersmanovskoi nauchnoi sessii = Regional geology, mineralogy and useful minerals of the Kola Peninsula. Proceedings of the XIII All-Russian with int. part. Fersman scientific session*. Apatity: KNTs RAN; 2016. P. 190–194. (In Russ.)

Petrov S. V., Borozdin A. P., Oleinik I. L., Tarasova I. P., Kotova I. K., Kotov S. R., Shelukhina Yu. S., Kolusheva O. S. Composition and formation conditions of noble metal ores of the Koykar-Svyatnavolok sill (Republic of Karelia). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle = Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2023;68(2):235–264. (In Russ.). doi: 10.21639/spbu07.2023.20

Pokalov V. T., Semenova N. V. Lobash – the first large molybdenum deposit of the Precambrian age. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii = Geology of Ore Deposits*. 1993;3:262–270. (In Russ.)

Puchtel I. B., Hofmann A. W., Mozger K., Jouchum K. P., Shchipansky A. A., Samsonov A. V. Oceanic plateau model for continental crust growth in the Archean: A case study from Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield. *Earth Planet Sci. Lett*. 1998;155:57–74. doi: 10.1016/S0012-821X(97)00202-1

Reznichenko V. A., Shabalin L. I. Titanomagnetites, deposits, metal industry, chemical technology. Moscow: Nauka, 1986. 291 p. (In Russ.)

Ruch'ev A. M. Structural features of the exploration site and the relative age of the Pedrolampi gold deposit. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 14. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. P. 92–112. (In Russ.)

Rybakov S. I., Golubev A. I. (eds.). Metallogeny of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 1999. 340 p. (In Russ.)

Sharov N. V. (ed.). Ladoga Proterozoic structure (geology, deep structure and minerageny). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2020. 435 p. (In Russ.)

Sharov N. V. (comp.). Discovery and exploration of the Kostomuksha iron ore deposit: a textbook for students. Petrozavodsk: PetrGU; 2014. 103 p. (In Russ.)

Sharov N. V., Shchiptsov V. V., Shchukin Yu. K., Pervunina A. V., Yablokova N. A., Sokolov G. N. (eds.). Relationship between surface structures of the earth's crust and deep ones: *Proceedings of the 14th International Conference*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2008. Part 1. 311 p. (In Russ.)

Shekov V. A. (ed.). The road of mining. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2014. 362 p. (In Russ.)

Shurilov A. V. Geological and structural position of the Karku uranium deposit (northeastern Priladozhye): Summary of PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. St. Petersburg; 2005. 21 p. (In Russ.)

Shchiptsov V. V. Economically important solid minerals of the Arctic zone of the Republic of Karelia. *Geologiya i mineral'nye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii: Mat-ly XVIII Geologicheskogo s'ezda Respubliki Komi = Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Proceedings of the XVIII geological congress of the Komi Republic*. Syktyvkar: Komi NTS UrO RAN; 2024. Vol. 1. P. 48–58. (In Russ.)

Shchiptsov V. V. Strongholds of strategic and economically important mineral resources of the Arctic zone of the Russian Federation in the conditions of geopolitical turbulence in the north of Europe and in the Arctic. Petrozavodsk: PetrGU; 2024. P. 142–149. (In Russ.)

Shchiptsov V. V. Useful minerals. *Atlas Respubliki Kareliya = Atlas of the Republic of Karelia*. Petrozavodsk: Verso; 2021. P. 10. (In Russ.)

Shchiptsov V. V., Burtsev I. N., Zhirov D. V., Voloshin A. V., Mashin D. O. Industrial minerals of North European Russia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2020;6:7–35. (In Russ.). doi: 10.17076/geo1276

Shchiptsov V. V., Frolov P. V., Il'ina V. P., Kevlich V. I. Mineralogical and technological features of industrial minerals of the Aganozersky block of the Burakovskiy massif. *Yubileinyi s"ezd RMO «200 let RMO»: Matly konf. = Anniversary congress of the Russian Mineralogical Society “200 years of the RMS”: Proc. conf.* St. Petersburg; 2017. Vol. 2. P. 171–173. (In Russ.)

Shchiptsov V. V., Ivashchenko V. I. Mineral potential of Arctic Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2018;2:3–33. (In Russ.). doi: 10.17076/geo775

Slabunov A. I., Isachenko A. A. Lithogeochemistry of the Shurlovaara banded iron formation, Kostomuksha Greenstone Belt, Karelian Craton, Russia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024;6:30–50. (In Russ.). doi: 10.17076/geo1950

Slabunov A. I., Kervinen A. V., Nesterova N. S., Egorov A. V., Maksimov O. A., Medvedev P. V. Main stages of the Kostomuksha greenstone belt banded iron formation genesis, Karelian craton: based on U-Th-Pb dating of zircon. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research*

Centre RAS. 2023;2:5–22. (In Russ.). doi: 10.17076/geo1749

Svetov S. A. Magmatic systems of the ocean-continent transition zone in the Archean of the Eastern Fennoscandian Shield. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2005. 229 p. (In Russ.)

Teten'kin D. D., Kazanov O. V. (eds.). State report on the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2023. Moscow: VIMS; 2024. 710 p. (In Russ.)

Trofimov N. N., Golubev A. I. Pudozhgorskoye noble metal titanomagnetite deposit. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2008. 123 p. (In Russ.)

Trofimov N. N., Golubev A. I., Smirnova N. K. Complex use of ores and overburden rocks of the Pudozhgorskoye deposit. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 7. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2004. P. 92–110. (In Russ.)

Tytk V. M., Frolov P. V. Lobash molybdenum deposit: a big promising economic deposit in the Republic of Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2014;1:56–62. (In Russ.)

Uskov M. Ch. (ed.). Geology, geochemistry and reference uranium deposits. Tashkent: NIIMR; 2016. 220 p. (In Russ.)

Velichkin V. I., Kushnerenko V. K., Tarasov N. N., Andreeva O. V., Kiseleva G. D., Krylova T. L., Doinikova O. A., Golubev V. N., Golovin V. A. Geology and formation conditions of the Karku unconformity-type deposit in the Northern Ladoga Region (Russia). *Geology of Ore Deposits*. 2005;47(2):87–112.

Zhuravlev V. A., Klyuchnikova G. N., Korovkin V. A., Rudenko D. G., Turyleva L. V. Subsoil of the North-West of the Russian Federation. St. Petersburg: VSEGEI; 2003. 754 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 24.07.2025; принята к публикации / accepted: 15.09.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Щипцов Владимир Владимирович

д-р геол.-мин. наук, главный научный сотрудник лаборатории рудообразующих систем и минеральных ресурсов ИГ КарНЦ РАН, профессор ПетрГУ

e-mail: vv.shchiptsov@gmail.com

Светов Сергей Анатольевич

д-р геол.-мин. наук, директор, руководитель лаборатории

e-mail: ssvetov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Shchiptsov, Vladimir

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Chief Researcher, IG KarRC RAS; professor, PetrSU

Svetov, Sergei

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Director, Head of Laboratory