УДК 553.493(470.22)

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ДОКЕМБРИЯ КАРЕЛИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В. И. ИВАЩЕНКО,
ведущий научный сотрудник, канд. геол.-минерал. наук,
ivashche@krc.karelia.ru

Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Приведены результаты рудно-формационной классификации карельских редкометалльных рудных объектов. К перспективным типам отнесены: ванадий-титан-железорудный базитовый; редкометалльный (Nb, Ta, Zr, Ce, La) щелочно-габброидный; бериллиевый, индий-полиметалльный и редкометалльный (Ta, Nb с гранитами рапакиви); рений-медно-молибденовый с золотом (порфировый); уран-благороднометалльно-ванадиевый (падминский); урановый типа «несогласия». С учетом мировой конъюнктуры на редкометалльное минеральное сырье территория Карелии имеет реальные металлогенические перспективы только на V, U, Re, In, Nb, Be, которые и определяют ее минерально-сырьевую базу редких металлов.

Ключевые слова: *Карелия, докембрий, Фенноскандинавский щит, минерагения, редкие металлы, индий, ванадий, скандий, рений, литий, ниобий, бериллий, уран.*

DOI: *10.17580/gzh.2019.03.08*

Введение

Российский минерально-сырьевой комплекс в настоящее время – один из наиболее экономически устойчивых и социально значимых секторов российской экономики. Его основой является минерально-сырьевая база – совокупность запасов и прогнозных ресурсов полезных ископаемых. В ее наращивании, прогрессивном развитии и совершенствовании структуры в соответствии с современным состоянием мировой промышленности и экономики важное значение имеют редкие металлы.

Редкие металлы в составе 40–44 химических элементов [1, 2] подразделяются на пять групп: *легкие (*Li, Be, Rb, Cs); *рассеянные* (Ga, In, Sc, Ge, Cd, Se, Bi, Te); *редкоземельные* (Y, La и все лантаноиды); *тугоплавкие* (Zr, Hf, V, Nb, Ta, Re); *радиоактивные* (Fr, Ra, Ac, Po, Tc, Th, Pa, U и все трансурановые элементы). Редкие металлы являются стратегическим минеральным сырьем, востребованным в современных наукоемких отраслях промышленности, прогрессивное развитие которой невозможно без их применения [3]. Наиболее экономически развитые страны (США, Япония, ФРГ, Англия, Франция) являются крупнейшими мировыми потребителями редких металлов. Россия по уровню их потребления отстает от США более чем на порядок [4], а по использованию индия – от Японии в сотни раз. Для 14 из 27 критических технологий, утвержденных Указом Президента РФ от 07.06.2011 г., использование редких металлов является основополагающим.

В России сосредоточено около 30 % разведанных мировых запасов редких металлов, что вполне достаточно для удовлетворения собственных потребностей в обозримом будущем. Однако их минерально-сырьевая база оказалась не вполне адекватной современным экономическим условиям ввиду существенной ее сосредоточенности в труднодоступных неосвоенных районах и низкого качества руд по сравнению с разрабатываемыми зарубежными месторождениями. Этим и определяется необходимость наращивания запасов редких металлов и развития их минерально-сырьевой базы преимущественно в регионах с благоприятными географо-климатическими условиями и развитой инфраструктурой. Одним из таких регионов, перспективных на некоторые виды редкометалльного сырья, где уже открыто несколько редкометалльных месторождений и большое число соответствующих проявлений, несомненно, является Карелия.

Редкометалльные рудные объекты Карелии

Редкометалльные рудные объекты Карелии представлены месторождениями (V, Be, U) и рудопроявлениями (In, Re, Nb, Ta, Li, Ce, La, Y) 17 рудно-формационных типов магматической, пегматитовой, альбитит-грейзеновой, гидротермально-метасоматической, осадочной и эпигенетической групп, из которых на достигнутом уровне геологической изученности к перспективным отнесены только восемь – ванадий-титан-железорудный базитовый, редкометалльный (Nb, Ta, Zr, Ce, La) щелочно-габброидный, бериллиевый, индий-полиметалльный и редкометалльный (Ta, Nb с гранитами рапакиви), рений-медно-молибденовый с золотом (порфировый), уран-благороднометалльно-ванадиевый «падминский», урановый типа «несогласия» [5].

По масштабности, степени изученности и прогнозируемой экономической значимости выделяются комплексные (Fe, Ti, V, Pt, Pd, Au, U, Se) месторождения ванадия [6, 7]. Рудные объекты других редких металлов в большинстве своем менее масштабны, изучены слабо и во многом являются проблемными с неясными перспективами освоения.

Основные ресурсы ванадия сосредоточены в Онежской структуре (см. **рисунок**): позднемагматические месторождения Пудожгорского комплекса (ΣC_1, C_2, P_1 – 5,2 млн т V_2O_5) и гидротермально-метасоматические Падминской группы (556 тыс. т V_2O_5); частично в Приладожье – черносланцевые проявления Леппясюрское (400 тыс. т V_2O_5); Ковадъярвинское и комплексное Fe-Ti-V-месторождение Вялимяки (около 300 тыс. т V_2O_5) [6, 7]. Перспективы их наращивания связывают с габбро-долеритовыми формациями

© Иващенко В. И., 2019

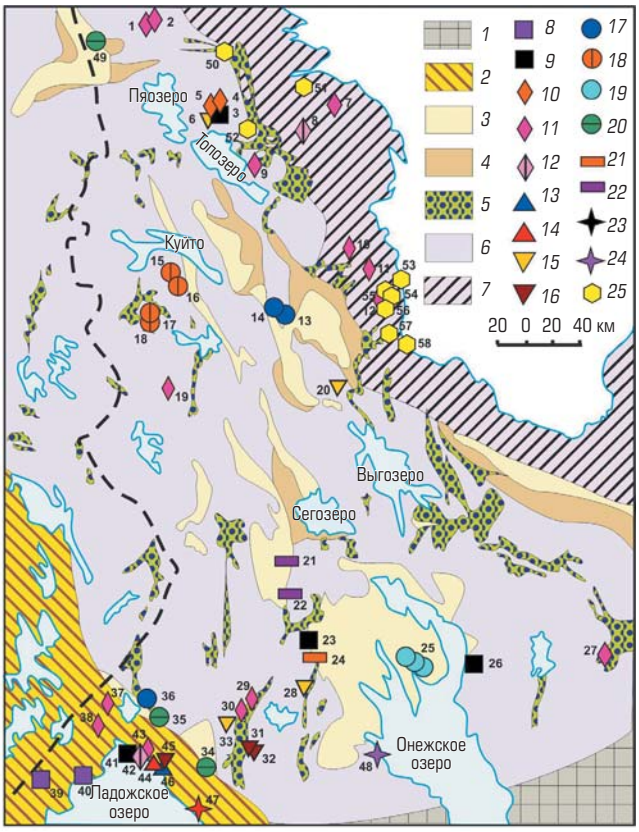

Схема размещения редкометалльных рудных объектов на территории Карелии:
1 – платформенный чехол; *2* – Свекофеннский складчатый пояс; *3* – ятулий, людиковий, калевий, вепсий нерасчлененные; *4* – сумий и сариолий нерасчлененные; *5* – лопий; *6* – комплекс архейского основания (TTG); *7* – Беломорский мобильный пояс. *Рудно-формационные типы редкометалльного оруденения*: *8*, *9* – поздне-магматические: *8* – редкоземельно(Ce, La)-фосфатный шошонитовый, *9* – V-Ti-железорудный базитовый; *10–12* – пегматитовые: *10* – редкометалльный (Nb, Ta ± Zr, Ce, La) щелочно-габброидный, *11* – редкометалльный (Li, Be, Ta, Nb) гранитогенный, *12* – редкоземельный (Ce, La, Y) гранитогенный; *13*, *14* – апоскарново-грейзеновые (с гранитами рапакиви): *13* – бериллиевый, *14* – индий-полиметалльный; *15* – альбититовый редкоземельный (Y); *16* – грейзеновый редкометалльный (Ta, Nb, с гранитами рапакиви); *17* – порфировый Re-Cu-молибденовый с Au; *18*, *19* – субщелочные приразломные метасоматиты: *18* – редкоземельный (Ce, La, Y), *19* – U-благороднометалльно-ванадиевый; *20* – черносланцевый молибден-благороднометалльно-ванадиевый с рением; *21*, *22* – конгломератовые: *21* – золоторедкоземельный (Y), *22* – золотоурановый; *23, 24* – эпигенетические инфильтрационные: *23* – урановый типа «несогласия», *24* – уран-битумный (в кварцитопесчаниках); *25* – редкометалльный (Sc) гранатовый метаморфогенный. *Месторождения, проявления:* 1 – Визиполуостров; 2 – Аськиярви; 3 – Елетьозеро; 4 – Елетьозерское; 5 – Елетьозерское-1; 6 – Копанецкое; 7 – Плотноламбинское; 8 – Кинаж; 9 – Пиртима; 10 – Урам; 11 – Торловручей; 12 – Слюдяноборское; 13 – Лобаш; 14 – Пяяваара; 15 – Руокосалма; 16 – Длинное; 17 – Берег; 18 – Гора; 19 – Кайдоярви; 20 – Ю. Идельское; 21 – Маймъярви; 22 – Совдозерское; 23 – Койкарско-Святнаволокское; 24 – Черный Наволок; 25 – Падминская группа; 26 – Пудожгорское; 27 – оз. Долгое; 28 – Липчагское; 29 – Вершинное; 30 – Случайное; 31 – Мюзилампи; 32 – Камень Наволок; 33 – Магоярви; 34 – Ковадъярви; 35 – Леппясюрское; 36 – Ялонвара, 37 – Маткаселька; 38 – Туоксъярви; 39 – Элисенваара; 40 – Акионсалми; 41 – Вялимяки; 42 – Нуолайниеми; 43 – Линнавара; 44 – Хопунваара; 45 – Хепаоя; 46 – Люпикко; 47 – Карку; 48 – Птицефабрика; 49 – Озерное; 50 – Униярви; 51 – Западно-Плотинское; 52 – Шаривара; 53 – Кислячиха; 54 – Солохина Луда; 55 – Еловый Наволок; 56 – Тербеостров; 57 – Удинское; 58 – Кузостровское

протерозойского возраста – Койкарским, Куолисма, Мотко и др., на которых компания «Полиметалл» проводит поисково-оценочные и разведочные работы на платинометалльное оруденение, в большинстве случаев пространственно совмещенное с ванадийсодержащим титаномагнетитовым.

Месторождения Пудожгорского комплекса (одноименное и Койкарское) приурочены к дифференцированным пологопадающим пластовым интрузивам кварцевых долеритов, ванадийсодержащие титаномагнетитовые залежи в которых имеют мощность 5–20 м и протяженность – первые километры. Руды комплексные – Fe-Ti-V-Pd-Au. Среднее содержание в них оксида железа 47,65 %; TiO_2 9,25 %; V_2O_5 0,4 %. В рудах отмечается положительная корреляционная зависимость между V, Fe и Ti.

По содержанию ванадия титаномагнетитовый концентрат Пудожгорского месторождения является лучшим среди других аналогичных ему месторождений России [8], а рудный титаномагнетитовый горизонт в целом характеризуется также повышенными содержаниями скандия – до 50 г/т, что является свидетельством его промышленных концентраций (>100 г/т) в ильмените и темноцветных силикатах – пироксене и амфиболе. Другими потенциальными источниками скандия в Карельском регионе являются Ti-Fe-V-месторождения Елетьозерского и Вялимякского массивов (в пироксенитах Sc ~50 г/т), метапироксениты и горнблендиты с Cu-Pt-Pd-Au-оруденением Кааламского комплекса (Sc ~70 г/т), месторождения пиральспитового граната в Беломорском мобильном поясе (в гранате Sc_2O_3 140–520 г/т) [9]. Главным условием промышленной значимости скандия в этих рудных объектах является их разработка на основное полезное ископаемое.

Уран-благороднометалльно-ванадиевые месторождения Падминской группы характеризуются высокими средними содержаниями пентоксида ванадия (2–4 %) и комплексностью рудной нагрузки (U, Pt, Pd, Au, Mo, Se и др.), что в совокупности с роскоэлитовым минеральным типом ванадиевых руд определяет существенные технологические сложности при их освоении.

Месторождения урана Карку и Птицефабрика, размещающиеся в Ладожской и Онежской структурах (см. рисунок), относятся к промышленно перспективной эпигенетической группе месторождений типа «несогласия», но их суммарные ресурсы довольно незначительны – около 10 тыс. т урана [6]. В последние годы в Карелии выявлено несколько перспективных уран-благороднометалльных проявлений (Ладожская и Куолаярвинская структуры), имеющих сходные черты с уникальным (содержание Au – до 33,2 кг/т, U – до

43,6 %) U-Au-месторождением Ромпас в палеопротерозойском сланцевом поясе Перяпохья в Финляндии [10, 11].

Редкоземельные проявления Карелии представлены преимущественно рудно-формационными типами [5], относящимися к промышленно неперспективным [4, 12] с отчетливо выраженной цериевой специализацией. Вследствие этого в связи с высокими промышленными требованиями к рудам такого типа по содержанию легких редкоземельных металлов – рядовые руды 3–5 %, бедные <3 % [13], преобладающее большинство этих «проявлений», по сути, являются только пунктами минерализации и должны быть сняты с кадастрового учета.

Согласно современным научным разработкам по минерагении редких земель [4, 12, 14–16], среди проявлений тяжелых редкоземельных металлов, которых в Кадастре Республики Карелия насчитывается около 20, к наиболее перспективным могут быть отнесены только рудные объекты, генетически связанные с Елетьозерско-Тикшеозерским щелочным и Улялегско-Салминским анортозит-рапакиви-гранитным комплексами (см. рисунок). Содержание редких металлов в щелочных метасоматитах и пегматитах Елетьозера достигают, %: Nb 0,5; Ta 0,015; Y 0,5; La 0,1; Ce 0,3; Hf 0,03; Zr 1; Be 0,3 [6]. В апатитовых рудах карбонатитов Тикшеозерского массива содержание редкоземельных металлов не превышает 0,15 %. Это объясняется низкой степенью дифференцированности карбонатитов, представленных преимущественно севитами при крайне ограниченном проявлении фоскоритов.

Грейзены и грейзенизированные граниты рапакиви-гранитного комплекса характеризуются повышенными содержаниями Y (до 0,41 %), Ce, La и наличием соответствующей минерализации (монацит, ксенотим, фергюсонит, эшинит, бастнезит, паризит, бритолит, самарскит и др.). Аналогичная редкоземельная минерализация отмечается в гидротермалитах зон дробления и катаклаза в западном экзоконтакте Салминского массива рапакиви – проявления Кореное (Y 0,2, Zr 0,3 %); Пюттюмяки (Nb – до 0,7 %, Zr – до 0,3, Y – до 0,3, Sc – до 0,1 %); Хирсимяки (Nb – до 0,2 %, La, Ce – до 0,15 %).

Крупные размеры щелочно-габброидных (24–100 км^2) и рапакиви-гранитных (около 5000 км^2) массивов предопределяют возможность нахождения в их пределах древних и современных рудоносных кор выветривания, отличающихся, как правило, наиболее высокими содержаниями редкоземельных металлов [12, 14], а также палеороссыпей. В этом аспекте потенциально перспективными на редкие земли могут быть также зоны тектонической проработки этих массивов и участки структурных несогласий.

Редкоземельные проявления в посторогенных (около 1,8 млрд лет) шошонитовых интрузивах Западного Приладожья (Вуоксинско-Элисенварский комплекс) характеризуются резко выраженной Ce-земельной (алланит, Ce-титанит, апатит и др.) специализацией. Содержание редких земель в контурах рудных тел на апатит с бортовым содержанием P_2O_5 1,5 % варьирует в пределах 0,2–0,4 % (местами до 1,5 %). Однако в их составе доля остродефицитных редкоземельных металлов иттриевой группы составляет как в породе в целом, так и в их главных минералах-концентраторах (апатите, титаните, алланите) всего 1–9 %. В связи с этим и в соответствии с современными оценочными критериями перспективности редкоземельных руд [15] металлогенический потенциал шошонитовых интрузий Приладожья на редкие земли представляется невысоким.

Широко распространенные в Карельском регионе рудные объекты Ta, Nb, Be, Li представлены двумя рудно-формационными типами – пегматитовым и альбититогрейзеновым (см. рисунок). Редкометалльные пегматиты, имеющие обычно комплексную рудную нагрузку, характеризуются незначительными ресурсами вследствие низких содержаний редких металлов и малоразмерности пегматитовых жил. На севере Карелии изредка встречаются пегматитовые жилы с очень высокими концентрациями редких металлов, проведение прогнозно-металлогенической оценки которых представляется целесообразным. К таковым относятся дифференцированные пегматитовые жилы мощностью 35 и 45 м Аськиярви и Визиполуостров (см. рисунок), имеющие, по данным бороздового опробования, проведенного ФГУП «Невскгеология», содержания, %: 15–20 Nb; 1 Ta; 2–3 Y; 2–10 Zr; 1,3–1,9 U; 1,2 Th.

С Li-F-гранитами в составе Салминского и Улялегского массивов рапакиви и связанными с ними метасоматитами известны мелкие месторождения бериллия – Хопунваара, Юго-Западное Люпикко, Уксинское (ресурсы около 10 тыс. т, BeO 0,1 %); крупные рудопроявления ниобия – Хепаоя, Мюзилампи (ресурсы – около 50 тыс. т, Nb 0,02 %, Ta 0,005 %).

В Карелии по аналогии с Финляндией, где готовятся к разработке пегматитовые жилы со сподуменом (суммарные запасы лития – около 30 тыс. т; Li_2O ~1 %) [17] могут представлять промышленный интерес подобные пегматиты в Хаутаваарской структуре, а также метасоматиты в связи с Li-F-гранитами Салминского массива рапакиви и зоны слюдизации по доломитам в северо-восточной части Онежской структуры.

Рений в молибденитовых рудах Карелии как перспективный промышленный тип оруденения этого одного из самых малораспространенных в земной коре редких металлов стал рассматриваться только в конце XX в. [18]. Главными промышленно значимыми рудными объектами на рений являются Cu-Mo-порфировые месторождения Лобаш и Ялонвара (см. рисунок) с содержаниями рения в молибденитах 20–70 [18], 50–246 г/т и прогнозными ресурсами 12 и 7,5 т соответственно. Наращивание ресурсов Re возможно за счет Mo-порфирового месторождения Пяяваара и Au-Pt-Pd-U-проявлений в Пана-Куолаярвинской структуре (Озерное, Лагерное и др.), характеризующихся повышенными содержаниями молибдена (до 0,2–0,3 %), и молибденит которых имеет аномально высокие концентрации Re (до 1,2 %) и Se (до 15 %) [19].

Одним из наиболее важных достижений в редкометалльной минерагении Карелии является выявление индиевой минерализации (рокезита $CuInS_2$) и высоких содержаний индия (до 0,33 %) в скарновых полиметаллических рудах Питкярантской группы месторождений [20]. Это представляется исключительно актуальным вследствие высокой востребованности индия современной промышленностью (жидкокристаллические мониторы, телефоны, айфоны и др.) и его безальтернативности при производстве научного оборудования, бытовой техники (телевизоры,

компьютеры) и разнообразных гаджетов. Главным минералом, определяющим баланс индия в рудах, является сфалерит. Наиболее высокое и стабильное содержание индия (до 1,5 %) установлено для сфалеритов медно-полиметаллических рудных ассоциаций в пропилитизированных скарнах и апоскарновых грейзенах месторождений Нового рудного поля, Люпикко, Кителя, Кулисмайокского проявления. Эти месторождения приурочены к зоне пологого погружения кровли Салминского массива рапакиви, осложненной куполовидными выступами, выполненными литийфтористыми гранитами.

По результатам ICP-MS-анализа сохранившихся проб скарновых руд Питкярантских месторождений (Кителя, Люпикко; керно-хранилище ТГФ Республики Карелия) и проб, отобранных из рудных отвалов Старого и Нового рудного поля (всего 80 проб), среднее содержание индия в рудах этих месторождений составляет около 100 г/т, в сфалерите – 977,3 г/т. В рудах между содержаниями In, Zn, Cd, Bi, Te отмечается положительная корреляционная зависимость. Для сфалеритов характерны аналогичные соотношения индия с медью.

В современной мировой промышленности индий получают при переработке полиметаллических руд колчеданных и эксгаляционно-осадочных месторождений с невысокими его содержаниями – 15–50 г/т [21]. В России индий производят на Челябинском цинковом заводе, работающем на колчеданно-полиметаллических рудах уральских месторождений (Гайское, Узельгинское, Сафьяновское и др.) с содержанием индия 10–24 г/т [22]. В 2012 г. там было получено 7 т индия [23].

Учитывая высокое среднее содержание индия (~100 г/т) в рудах Питкярантской группы месторождений и его положительную корреляционную связь с цинком, прогнозные ресурсы индия в пределах этих месторождений при утвержденных запасах и ресурсах цинка около 2500 тыс. т [5] составляют приблизительно 2400 т. Это определяет Питкярантские месторождения как один из высокоперспективных на индий рудных объектов России, превосходящих по ряду параметров комплексные индийсодержащие месторождения Дальнего Востока [24].

Заключение

Территория Карелии с учетом достигнутого уровня геологической изученности редкометалльного оруденения в ее пределах и мировой конъюнктуры на этот вид минерального сырья перспективна только на V, In, Re, U, Nb, Be, которые и определяют ее минерально-сырьевую базу редких металлов (см. **таблицу**). При проведении дополнительных научно-исследовательских и поисково-оценочных работ перспективы развития базы заключаются в пополнении ее ресурсами скандия, редких земель иттриевой группы и лития.

Минерально-сырьевая база редких металлов докембрия Карелии

Редкие металлы	Минеральные типы	Массовая доля, %	Запасы, ресурсы, тыс. т	Месторождения, проявления
Ванадий	Титаномагнетитовый Роскоэлитовый	0,25–0,6	6000 1000	Пудожгорское, Койкарское, Падминская группа
Уран	Коффинит-настурановый	0,06–0,13	~10	Карку, Птицефабрика
Индий	Рокезит-сфалеритовый	0,002–0,3	~2,4	Питкярантская группа
Бериллий	Хризоберилл-гельвиновый	0,03–0,04	18	Юго-Западное Люпикко, Уксинское
Ниобий	Танталит-колумбитовый	0,01–0,03	~40	Мюзилампи, Хепаоя
Рений (MoS_2)	Молибденитовый	0,005–0,026	0,02	Лобаш, Ялонвара

В условиях высокой востребованности современной промышленностью такого критического металла, как индий, группа территориально сближенных и геологически сходных Питкярантских скарновых месторождений со средним содержанием индия около 100 г/т в рудах, значительно более высоким, чем в месторождениях России, где добывается данный металл, и большими прогнозными ресурсами (приблизительно 2400 т) представляется в качестве одного из наиболее перспективных на индий рудных объектов России.

Главными условиями освоения минерально-сырьевой базы редких металлов Карелии являются: для ванадия и рения – разработка соответствующих месторождений на основные полезные компоненты (Ti, платиноиды, Mo) с применением комплексных технологий; для индия – развитие в масштабах России отраслей промышленности, потребляющих данный металл (телевизоры, жидкокристаллические мониторы, телефоны, айфоны и другие гаджеты).

Республика Карелия является одним из наиболее перспективных и инвестиционно привлекательных регионов России для промышленной добычи индия и ванадия. Для развития здесь минерально-сырьевой базы редких металлов целесообразно проведение комплексных научно-исследовательских и поисково-оценочных работ в тесной координации с геологическими производственными организациями и курирующими их правительственными органами.

Библиографический список

1. *Дробот Д. В., Буслаева Т. М.* Редкие и платиновые металлы в XX–XXI вв. // Российский химический журнал. 2001. Т. XLV. № 2. С. 46–55.
2. *Твердохлебова Т. В., Усова Е. А.* Мировой и российский рынок редких металлов: текущее состояние и перспективы развития // Проблемы современной экономики. 2011. № 4. С. 102–105.
3. *Yanfei Xiao, Zongyu Feng, Guhua Hu, Li Huang, Xiaowei Huang* et al. Reduction leaching of rare earth from ion-adsorption type rare earths ore with ferrous sulfate // Journal of Rare Earths. 2016. Vol. 34. Iss. 9. P. 917–923.
4. *Быховский Л. З.* Реальные, потенциальные и перспективные источники редкоземельного сырья в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 4. С. 2–8.
5. *Иващенко В. И.* Главные рудно-формационные типы редкометального оруденения Карелии // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 189–194.
6. Минерально-сырьевая база Республики Карелия / под ред. В. П. Михайлова, В. Н. Аминова. – Петрозаводск : Карелия, 2006. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. – 356 с.
7. *Трофимов Н. Н., Голубев А. И.* Пудожгорское благороднометалльное титаномагнетитовое месторождение. – Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2008. – 123 с.

8. *Копкова Е. К., Громов П. Б., Щелокова Е. А.* Перспективные направления переработки Карельского ванадийсодержащего титаномагнетита // Цветные металлы Сибири : матер. Первого междунар. конгресса. – Красноярск, 2009. С. 380–383.
9. *Ручьев А. М.* Карельский гранат – перспективный источник скандия и редкоземельных металлов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Сер.: Геология докембрия. 2017. № 11. С. 30–42.
10. *Cathelineau M., Talbot J.-Y., Boiron M.-C., Gaillard N., Cuney M.* et al. The atypical Au-(U)-calc-silicate hosted mineralization of Rompas (Northern Finland): fluid-rock interactions and ore genesis // Mineral deposit research for a high-tech world : Proceedings of the 12th SGA Biennial Meeting. – Uppsala, 2013. Vol. 4. P. 1626–1629.
11. *Гребенкин Н. А., Леденева Н. В., Филиппов Н. Б., Житников В. А., Литвиненко В. И.* Особенности уран-золоторудных проявлений группы Ромпас и объекта Палокас (Северная Финляндия) // Разведка и охрана недр. 2015. № 5. С. 11–17.
12. *Verplanck P. L., Hitzman M. W.* Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits : Reviews in Economic Geology. – Littleton : Society of Economic Geologists, 2016. Vol. 18. – 365 p.
13. Минеральное сырье : справочник / под ред. В. П. Орлова. – М. : Геоинформмарк, 1999. – 302 с.
14. *Бавлов В. Н., Комин М. Ф., Усова Т. Ю.* Программа изучения и воспроизводства минерально-сырьевой базы редких металлов России // Разведка и охрана недр. 2006. № 9-10. С. 6–13.
15. *Середин В. В.* Новый метод первичной оценки перспективности редкоземельных руд // Геология рудных месторождений. 2010. Т. 52. № 5. С. 475–480.
16. *Бортников Н. С., Волков А. В., Галямов А. Л., Викентьев И. В., Аристов В. В.* и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119.
17. *Rasilainen K., Eilu P., Ahtola T., Halkoaho T., Kärkkäinen N.* et al. Quantitative assessment of undiscovered resources in lithium–caesium–tantalum pegmatite-hosted deposits in Finland // Geological Survey of Finland. 2018. Bulletin 406. – 172 p.
18. *Богачев В. А., Петров С. В., Пшеничникова Е. П., Филиппов Н. Б.* Осмий и рений в молибденитах гранит-порфировых проявлений Карелии // Минерал. 1999. № 1. С. 13–15.
19. *Калинин А. А., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А.* Минерализация Se и Te в альбититах и перспективы золотоносности метасоматитов Салла-Куолаярвинской зоны, Северная Карелия // Доклады Академии наук. 2014. Т. 455. № 1. С. 58–61.
20. *Иващенко В. И., Валкама М., Сундблад К., Голубев А. И., Алексеев В. Ю.* Новые данные по минералогии и металлогении скарнов Питкярантского рудного района // Доклады Академии наук. 2011. Т. 440. № 2. С. 229–233.
21. *Alfantazi A. M., Moskalyk R. R.* Processing of indium: a review // Minerals Engineering. 2003. Vol. 16. Iss. 8. P. 687–694.
22. *Гаськов И. В., Павлова Г. А., Владимиров А. Г., Гвоздев В. И.* Индий и другие элементы-примеси в рудах колчеданно-полиметаллических и оловосульфидных месторождений Сибири и Дальнего Востока // Благородные, редкие и радиоактивные элементы в рудообразующих системах : матер. Всероссийской науч. конф. с междунар. участием. – Новосибирск : ИНГГ СО РАН, 2014. С. 156–162.
23. Mineral Commodity Summaries 2015 / U.S. Geological Survey, 2015. URL: https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2016/01/mcs2015.pdf (дата обращения: 19.09.2018).
24. *Склярова Г. Ф.* О комплексном использовании руд редких металлов Дальнего Востока Российской Федерации // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 27–31. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2019, № 3, pp. 40–44
DOI: 10.17580/gzh.2019.03.08

Raw materials base of Precambrian rare metals in Karelia: Current conditions and development prospects

Information about author
V. I. Ivashchenko [1], Leading Researcher, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, ivashche@krc.karelia.ru

[1] Institute of Geology, Karelian Research Center, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Abstract
Current condition and growth prospects of raw materials base of Precambrian rare metals in the Republic of Karelia are assessed. Classification results of Karelian formations of rare metals are presented. It is found that the territory of Karelia, considering the available geological knowledge on rare metal mineralization and the global market trends, is promising in terms of V, In, Re, U, Nb and Be reserves. Additional research, exploration and appraisal have added the raw materials base on the Republic with scandium, yttrium and lithium group rare earths.
The basic terms of development of the rare metals base in Karelia are: for vanadium and rhenium—development of mineral deposits; for indium—expansion of consuming branches of industry.
It is mentioned that the Republic of Karelia is one of the most promising and investment-attractive regions for industrial production of indium and vanadium in Russia. Expansion of rare metals base requires integrated research–exploitation–appraisal in close cooperation with geological agencies and supervising governmental authorities.
Keywords: Karelia, Precambrian, Fenno-Scandinavian Shield, minerageny, rare metals, indium, vanadium, scandium, rhenium, lithium, niobium, berrilium, uranium.

References

1. Drobot D. V., Buslaeva T. M. Rare and platinum metals in the 20th–21st century. *Rossiyskiy khmicheskiy zhurnal.* 2001. Vol. XLV, No. 2. pp. 46–55.
2. Tverdokhlebova T. V., Usova E. A. International and Russian market of rare metals: current state and perspectives of development. *Problemy sovremennoy ekonomiki*. 2011. No. 4. pp. 102–105.
3. Yanfei Xiao, Zongyu Feng, Guhua Hu, Li Huang, Xiaowei Huang et al. Reduction leaching of rare earth from ion-adsorption type rare earths ore with ferrous sulfate. *Journal of Rare Earths*. 2016. Vol. 34, Iss. 9. pp. 917–923.
4. Bykhovsky L. Z. Existing, potential and promising sources of rare earth minerals in Russia. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2014. No. 4. pp. 2–8.
5. Ivashchenko V. I. Main types of rare-metal mineralization in Karelia. *Geology of Ore Deposits*. 2016. Vol. 58, Iss. 2. pp. 166–171.
6. Mikhailov V. P., Aminov V. N. (Eds.). Mineral and raw material base of the Republic Karelia. Petrozavodsk : Kareliya, 2006. Book 2: Non-metallic mineral resources. Underground waters and medical muds. 356 p.
7. Trofimov N. N., Golubev A. I. Pudozhgorskoe noble-metal titanim–magnetite deposit. Petrozavodsk : KarNTs RAN, 2008. 123 p.
8. Kopkova E. K., Gromov P. B., Shchelokova E. A. Promising trends in processing of Karelian vanadium-bearing titanium–magnetite. *Nonferrous Metals of Siberia : I International Congress Proceedings.* Karsnoyarsk, 2009. pp. 380–383.
9. Ruchyov A. M. Karelian garnet as a promising source of scandium and rare-earth metals. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Ser.: Geologiya dokembriya*. 2017. No. 11. pp. 30–42.
10. Cathelineau M., Talbot J.-Y., Boiron M.-C., Gaillard N., Cuney M. et al. The atypical Au-(U)-calc-silicate hosted mineralization of Rompas (Northern Finland): fluid-rock interactions and ore genesis. *Mineral deposit research for a high-tech world : Proceedings of the 12th SGA Biennial Meeting*. Uppsala, 2013. Vol. 4. pp. 1626–1629.
11. Grebenkin N. A., Ledeneva N. V., Philippov N. B., Zhitnikov V. A., Litvinenko V. I. Peculiarities of the uranium-gold occurrences at Rompas group and Palokas site (Northern Finland). *Razvedka i okhrana nedr*. 2015. No. 5. pp. 11–17.
12. Verplanck P. L., Hitzman M. W. Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits : Reviews in Economic Geology. Littleton : Society of Economic Geologists, 2016. Vol. 18. 365 p.
13. Orlov V. P. (Ed.). Mineral raw materials : reference book. Moscow : Geoinformmark, 1999. 302 p.
14. Bavlov V. N., Komin M. F., Usova T. Yu. Program of studying and reproducing raw materials base of rare metakls in Russia. *Razvedka i okhrana nedr*. 2006. No. 9-10. pp. 6–13.
15. Seredin V. V. A new method for primary evaluation of the outlook for rare earth element ores. *Geology of Ore Deposits*. 2010. Vol. 52, Iss 5. pp. 428–433.
16. Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galyamov A. L., Vikentev I. V., Aristov V. V. et al. Mineral resources of high-tech metals in Russia: State of the art and outlook. *Geology of Ore Deposits*. 2016. Vol. 58, Iss. 2. pp. 83–103.
17. Rasilainen K., Eilu P., Ahtola T., Halkoaho T., Kärkkäinen N. et al. Quantitative assessment of undiscovered resources in lithium–caesium–tantalum pegmatite-hosted deposits in Finland. *Geological Survey of Finland*. 2018. Bulletin 406. 172 p.
18. Bogachev V. A., Petrov S. V., Pshenichnikova E. P., Filippov N. B. Osmium and rhenium in molybdenite of garnet–porphyrite mineralizations in Karelia. *Mineral.* 1999. No. 1. pp. 13–15.
19. 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. Vol. 455, Iss. 1. pp. 229–232.
20. Ivashchenko V. I., Valkama M., Sundblad K., Golubev A. I., Alekseev V. Yu. New Data on Mineralogy and Metallogeny of Scarns in the Pitkyaranta Ore Region. *Doklady Earth Sciences*. 2011. Vol. 440, Iss. 1. pp. 1307–1311.
21. Alfantazi A. M., Moskalyk R. R. Processing of indium: a review. *Minerals Engineering*. 2003. Vol. 16, Iss. 8. pp. 687–694.
22. Gaskov I. V., Pavlova G. A., Vladimirov A. G., Gvozdev V. I. Indium and other associated elements in complex porphyrite and tin–sulphide ore deposits of Siberia and Far East. *Noble, Rare and Radioactive Elements in Ore-Forming Systsmes : Proceedings of All-Russian Scientific Conference with International Participation*. Novosibirsk : INGG SO RAN, 2014. pp. 156–162.
23. Mineral Commodity Summaries 2015. U.S. Geological Survey, 2015. Available at: https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2016/01/mcs2015.pdf (accessed: 19.09.2018).
24. Sklyarova G. F. On the integrated use of rare metals ores on the Far East of Russian Federation. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2011. No. 5. pp. 27–31.