
ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

НЕДРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ – КЛАДОВАЯ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ “ЗЕЛЁНЫХ” ТЕХНОЛОГИЙ

© 2020 г. А. В. Волков^{1,*}, А. А. Сидоров^{1,**}

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

*E-mail: tma2105@mail.ru

**E-mail: kolyma@igem.ru

Поступила в редакцию 20.06.2019 г.
Поступила после доработки 20.07.2019 г.
Принята к публикации 18.09.2019 г.

Проблема обеспеченности высокотехнологичной промышленности России критическим минеральным сырьём с каждым годом становится всё более острой в связи с неуклонным сокращением богатых и относительно доступных в техническом и экономическом отношении месторождений и неустойчивостью импорта из стран-производителей вследствие политической нестабильности в мире. В статье показывается, почему данная проблема весьма актуальна во всём мире и почему она стала предметом обсуждения на специальном заседании президиума РАН 12 февраля 2019 г. Уточняется, каким образом обеспеченность промышленности критическим минеральным сырьём может повлиять на экономическое развитие Арктики в целом и российского национального сектора в частности.

Ключевые слова: Арктика, недра, минеральное богатство, металлогения, месторождение, критические металлы, “зелёные” технологии.

DOI: 10.31857/S0869587320010144

В последние годы Всемирный банк и Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), объединяющая 36 стран, в которых проживает так называемый золотой миллиард населения Земли, озабочены двумя вопросами: что делать с парниковым эффектом и потеплением климата и что будет, когда нефть закончится [1, 2].



ВОЛКОВ Александр Владимирович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологии рудных месторождений ИГЕМ РАН. СИДОРОВ Анатолий Алексеевич – член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИГЕМ РАН.

В своих прогнозах, призванных помочь ответить на эти вопросы, Всемирный банк и ОЭСР рассматривают один безальтернативный вариант – переход на “зелёные” технологии. Однако этот переход, судя по тем же прогнозам, потребует значительного увеличения добычи невозобновляемых видов минеральных ресурсов (в том числе нефти, газа, твёрдых полезных ископаемых) и особенно критических металлов и минералов. Поэтому в ближайшей перспективе неминуемо начнётся освоение пока ещё не востребованных арктических кладовых минеральных ресурсов. Кроме того, можно предположить, что грядёт бум геологоразведочных работ в слабоизученных районах Арктики, направленный на открытие новых месторождений.

В XXI в. геополитические интересы России последовательно перемещаются на Север – в Арктику. Правительство РФ планирует в ближайшей перспективе создать здесь мощный минерально-сырьевой комплекс на основе развития Северного морского пути [3]. Россия занимает первое место в мире среди арктических стран – производителей минерального сырья [4]. При этом детальные металлогенические исследования

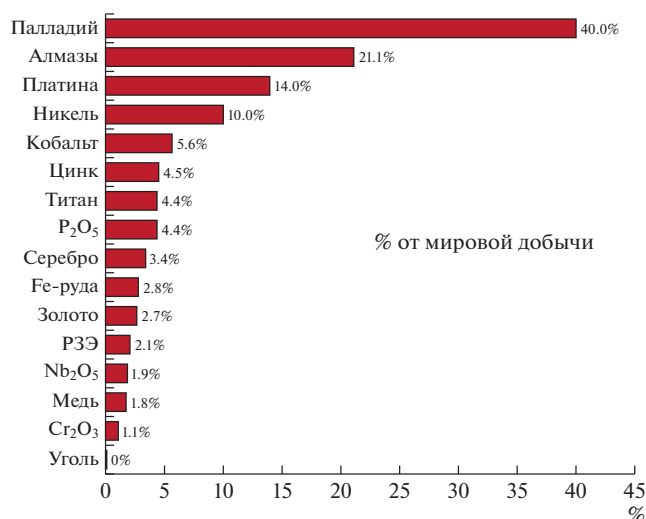


Рис. 1. Добыча твёрдых полезных ископаемых в Арктике в 2017 г., % глобальной добычи

выполнены лишь для отдельных регионов российской Арктики, значительная часть которой (более 4 млн км²) остаётся слабоизученной в силу труднодоступности. Перспективы освоения арктических месторождений критических металлов, кроме масштаба и богатства руд, во многом определяются близостью к Северному морскому пути и к судоходным рекам, что значительно повышает рентабельность работы рудников за счёт использования водного транспорта [4].

Несмотря на вековую историю горнодобывающих работ, недра Арктики содержат ещё достаточное количество твёрдых полезных ископаемых (ТПИ). Однако наибольшее значение для горнодобывающей промышленности в настоя-

щее время имеют металлы платиновой группы (МПГ): Di, Ni, Co, Zn, Ti, P₂O₅, Ag, Pb, Fe-руда, Au, Cu и др. Для сравнительного анализа по секторам Арктики количество добытых ТПИ оценено в долларах по среднегодовым ценам на 2017 г. [5, 6]. Такой же сравнительный анализ выполнен и по субъектам Арктической зоны РФ. Кроме того, результаты по Арктике сопоставлялись с глобальными данными (рис. 1), а результаты по российскому сектору — с данными по Арктике в целом (рис. 2). Доля арктического минерального сырья в мировых запасах и добыче вычислялась на основе данных, представленных в работе [5]. Доля арктического минерального сырья в запасах и добыче РФ определена с учётом данных, с которыми можно ознакомиться в докладе [6].

Минеральное богатство достаточно равномерно распределено по основным национальным секторам Арктики (рис. 3). Российский сектор занимает лидирующую позицию по суммарной добыче минерального сырья, на втором месте располагается Канада, на третьем с небольшим отставанием — США. Среди российских регионов по стоимости добываемого сырья лидирует Таймырский округ (ПАО «Норникель»), второе место удерживает Мурманская область (ПАО «Норникель», ПАО «Фосагро» и ПАО «Северсталь»), третье — Чукотский АО (Кинросс Голд, ОАО «Полиметалл», «Highland Gold Mining») (рис. 4).

На основании данных, представленных на рисунке 3, можно прогнозировать ощутимый рост минерально-сырьевого сектора Арктики — в пределах 1.5–2 раз. Наибольшим потенциалом роста добычи ТПИ обладает практически неосвоенная территория Гренландии. С большой вероятностью стоит ждать открытия новых крупных месторождений в арктических секторах России, США и Канады, тогда как в старопромышленных

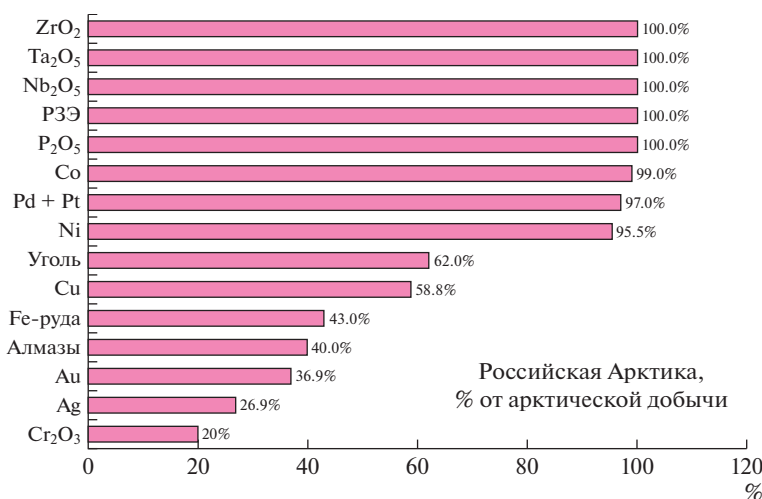


Рис. 2. Добыча твёрдых полезных ископаемых в Арктической зоне РФ в 2017 г., % добычи в Арктике в целом

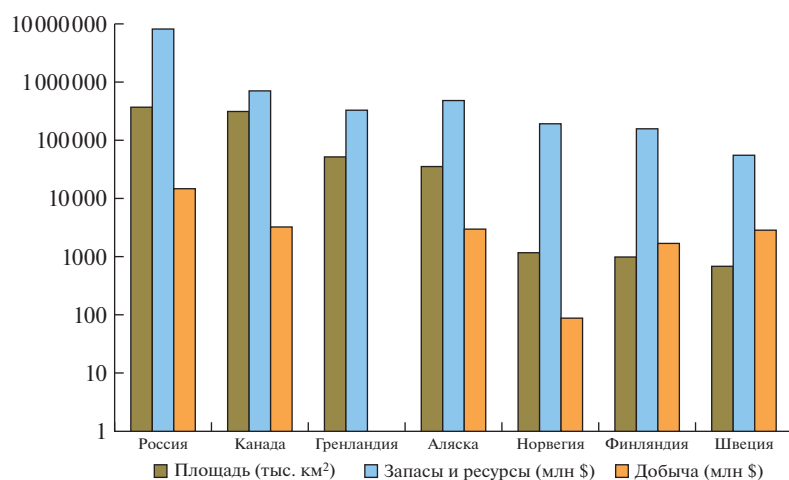


Рис. 3. Площади, запасы и добыча твёрдых полезных ископаемых в национальных секторах Арктики, 2017 г.

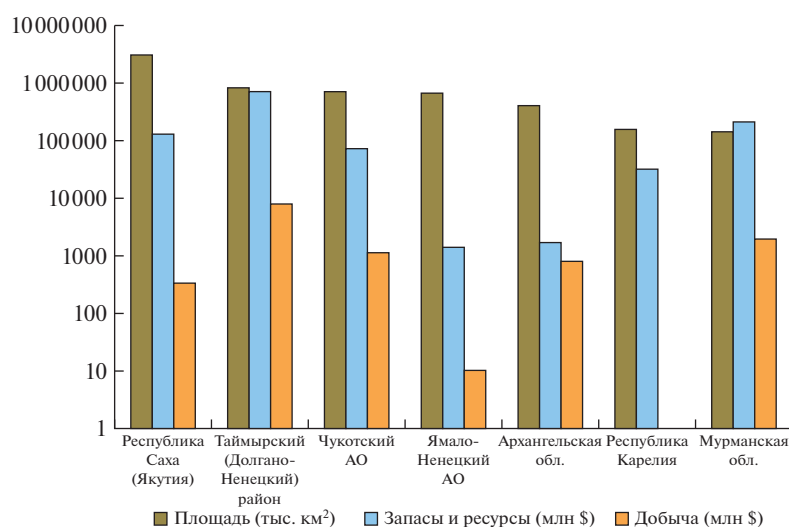


Рис. 4. Площади, запасы и добыча твёрдых полезных ископаемых субъектов в Арктической зоне РФ, 2017 г.

регионах Скандинавских стран в ближайшей и среднесрочной перспективе, скорее всего, продолжится стагнация добычи минерального сырья. Как видно из рисунка 4, перед российским минерально-сырьевым сектором в Арктике также открываются большие перспективы, лидерами роста добычи ТПИ должны стать практически неосвоенные территории северных улусов Якутии, Таймыра, Чукотки, а также территории Архангельской области и Республики Карелия.

“Зелёные” технологии. Термин “технология” означает применение знаний в практических целях. Определение “зелёные” указывает, что речь идёт о воздействии человека на окружающую среду. Главная цель “зелёных” технологий — удовлетворение сегодняшних потребностей без ущерба для способности будущих поколений удовлетво-

рять свои собственные потребности. Согласно классификации ОЭСР [7], “зелёные” технологии охватывают следующие сферы: общее экологическое управление (управление отходами, борьба с загрязнением воды, воздуха, восстановление земель и пр.); производство энергии из возобновляемых источников (солнечная энергия, биотопливо и пр.); смягчение последствий изменения климата, снижение вредных выбросов в атмосферу, повышение эффективности использования топлива, а также энергоэффективности в зданиях и осветительных приборах. Таким образом, понятие “зелёные” технологии подразумевает использование науки и техники для защиты окружающей среды. Особенно важны подобные технологии для поддержания очень чувствительной арктической природы.

“Зелёные” нанотехнологии — это применение принципов “зелёной” химии и “зелёной” инженерии (“философский камень” будущего) в масштабе одной миллиардной метра. Нанотехнологии, как ожидается, трансформируют способ производства и позволят реанимировать повреждённую экосистему планеты. По имеющимся оценкам, “зелёные” технологии вызовут перемены такого же масштаба, что и компьютерные технологии. На ранней стадии невозможно предсказать, какими именно будут изменения в повседневной жизни каждого человека вследствие применения “зелёных” технологий, но возможно обозначить проблемы и вызовы, обусловленные разворачиванием нового технологического тренда. Пожалуй, наиболее актуальная проблема — разработка альтернативных видов топлива и новых способов получения энергии. Однако на протяжении определённого периода (до 2060 г.) новые технологии должны будут использоваться наряду со старыми, а для подготовки к “зелёному” переходу потребуются резкое увеличение добычи невозобновляемых минеральных ресурсов. К 2060 г. в результате “зелёного” перехода мировой спрос на металлы, по расчётам экспертов, возрастет больше, чем на любое другое сырьё, — с 8 до 20 гигатонн в год [7].

Батарейные, высокотехнологичные и критические металлы. В последнее десятилетие развитые страны (США, страны ЕС, Япония, Южная Корея, Великобритания и Австралия) проводили специальные исследования для оценки минерально-сырьевого потенциала критических металлов и минералов. К критическим видам в мире в основном относят то минеральное сырьё, которое лежит в основе высоких технологий (“зелёных”) и имеет важнейшее значение для поступательного развития многих отраслей промышленности.

В докладе Национальной академии наук США приведено следующее определение: “Минеральное сырьё может рассматриваться как критическое для экономики, если у него имеется ограниченное число удовлетворительных заменителей или последних вообще не существует” [8]. В русскоязычной литературе в качестве синонима используется термин “стратегический”.

Выделяются две основные группы комплексных месторождений критических металлов: первая — собственные месторождения, руды которых содержат комплекс редких металлов и редкоземельных элементов; вторая — комплексные месторождения чёрных и цветных металлов, нерудного сырья, углей и других полезных ископаемых, в которых критические металлы являются попутными компонентами. К последним относятся многие из критических металлов и полуметаллов (Bi, Cd, Se, Te, Ge, Ga, In, Tl, Pb, Sn, Re, Sc, Hf),

получаемых в качестве побочных продуктов и извлекаемых на поздних стадиях металлургического процесса. Во многих случаях в комплексных рудах эти металлы плохо изучены, поэтому они характеризуются весьма неопределёнными оценками ресурсов как в России, так и в мире. Главные источники попутных металлов — сульфидные руды меди, свинца и цинка, молибдена, а также некоторые типы вольфрамовых, оловянных, урановых месторождений, бокситы и россыпные месторождения. Эти металлы часто называют металлами-спутниками.

Прогнозируемый Международным энергетическим агентством (МЭА) рост мирового спроса на электромобили заставляет автомобильную промышленность обратить пристальное внимание на запасы так называемых батарейных металлов, необходимых для выпуска аккумуляторов. К ним относятся Li, Ni, Co, графит и редкоземельные металлы (РЗМ). По данным МЭА, в прошлом году в мире эксплуатировалось 2 млн электромобилей, к 2040 г. их число достигнет, как минимум, 40 млн [9]. К 2025 г. электрокары будут стоить столько же, сколько машины с двигателями внутреннего сгорания. Поэтому кобальт, один из главных батарейных металлов, подорожал за последние полтора года более чем на 190%. По прогнозу МЭА, спрос на кобальт к 2020 г. удвоится, достигнув 200 тыс. т в год [9]. Обеспечить поставки кобальта труднее всего, поскольку 65% его добычи приходится на Демократическую Республику Конго, одну из беднейших и наиболее политически нестабильных стран мира.

В России основное производство батарейных металлов сосредоточено в Арктической зоне — в Норильске и Мурманской области [4, 10]. Так, 6% поставок кобальта и 12% никеля в мире контролирует ПАО “Норникель”. В Норильске находится седьмая часть всех мировых запасов никелевых руд, поэтому “Норникель” начал модернизировать своё производство, стремясь увеличить поставку металлов для Li-ионных и других современных аккумуляторов.

По оценкам экспертов [9], литий станет катализатором грядущей “зелёной” революции. В связи с ажиотажным спросом в ближайшие годы может возникнуть его нехватка, к 2030 г. спрос предположительно вырастет в 4 раза. Литиевые аккумуляторы могут быть любой формы, начиная от размера со стола и заканчивая классическими конструкциями. Уже сегодня в Китае планируют перевести весь общественный транспорт на Li-ионные аккумуляторы, а Норвегия до 2025 г. и вовсе планирует отказаться от бензиновых двигателей. 2018 год стал знаковым для мировых инвесторов. Спрос на карбонат лития подскочил на 300%, никель подорожал в 1.5 раза, медь и алюми-

ний — на 25%. Для производства 500 тыс. электромобилей в год придётся скупить весь Li в мире [9].

На территории России лучшими параметрами по запасам и содержанию Li_2O отличаются Колмозёрское и Полмостундровское месторождения Мурманской области (34% общероссийских запасов) [11]. Кроме того, эти же месторождения содержат 14% российских запасов бериллия и около 3% тантала. В России применение Li и его соединений до сих пор ограничивалось в основном оборонной промышленностью. Развивая высокотехнологичную “зелёную” индустрию, Россия будет наращивать использование лития. По всей вероятности, к 2025 г. потребность в этом металле возрастёт в России в несколько раз по сравнению с современным уровнем и составит не менее 3 тыс. т в год [11]. По прогнозам МЭА, мировой спрос на соединения Li в 2020 г. увеличится более чем в 2 раза, а к 2040 г. может возрасти в 4 раза [9].

Кроме батарейных, в Российской Арктике добывается ещё ряд важнейших “высокотехнологичных” металлов [10], к которым относят Ro, Mn, In, Nb, Ga, Cu, Ta, Pd, Pt, V, Ti, Te, Se, Hf, Zr, Re, Ge, Cd и 17 так называемых лантаноидов — редкоземельных металлов во главе с лантаном. Все они критически важны для наукоёмких отраслей экономики и “зелёного” перехода [7]. По мнению некоторых аналитиков, дефицит этих металлов наступит раньше, чем последняя капля нефти сгорит в двигателе автомобиля.

Для каждой отрасли имеется свой перечень ключевых элементов [7]. Для автопрома это Rh, Pd, Pt, V, Nd и La, для волоконной оптики и электроники — Ge, Ga, In, Eu, для специальных сталей и сверхтвёрдых сплавов — Nb, Mo, W, Ta, Ti, Sc, Re. Изготовление высокоточной оптики невозможно без La и Ce, в солнечной энергетике незаменимы Te, In, Ga и Se, а без Ti, Sc и Re не поднимется в небо ни один реактивный самолёт. С каждым годом перечень критически важных для промышленности металлов становится всё длиннее. Только поставки молибдена благодаря существованию развитой минерально-сырьевой базы, не доставляют головной боли промышленности [10]. Остальные металлы по разным причинам относятся к категории критических.

Наиболее острая ситуация складывается с родием и платиной. Каждый современный автомобиль оснащается катализатором, в котором содержатся эти платиноиды, в природе встречающиеся только вместе. Мировое производство родия, стоимость которого равна фантастическим 9 тыс. долл. США за тройскую унцию (31.1 г), составляет примерно 50 т в год и практически достигло пика как в заполярном Норильске, так и в районе рифа Меренского в Южной Африке. Заменителей для Rh и Pt найти не удаётся. Предпо-

лагается, что рост числа электромобилей приведёт к уменьшению количества автомобилей с катализаторами [9]. Однако “зелёный” автопром нуждается в тех же РЗМ, что и обычный, а их производство сегодня обеспечивается только одним, хотя и гигантским месторождением Байян-Обо в КНР. Суммарное количество РЗМ, добываемое в Байян-Обо, составляет 125 тыс. т в год, в том числе 20 тыс. т неодима и 40 тыс. т лантана [12]. Аккумуляторы новейших гибридных автомобилей Toyota Prius и Honda Insight, как и автомобилей других компаний, включая китайские, содержат минимум 12 кг La, 30 кг Ni и 2 кг Co. Такие батареи не стареют: начиная с 1999 г. компания “Toyota” продала уже более 1 млн гибридов, и аккумуляторы этих автомобилей успешно служат до сих пор [9]. Альтернатива китайским поставкам РЗМ есть: богатейшее месторождение Маунтин-Пасс в горах пустыни Мохаве (США), австралийские Дуббо и Арафура и, конечно, месторождения в Арктической зоне России (Хибинская группа, Ковдор, Ловозёрское, Томтор и др.). Однако для увеличения добычи РЗМ за счёт этих объектов потребуется не менее 10 лет.

Редкоземельные металлы, группа из 17 металлов, включающая La, Sc, Y и др., как правило, встречаются в природе совместно. Основные источники РЗМ — минералы бастнезит, монацит, лопарит и ионно-абсорбционные руды. Рентабельных для разработки месторождений РЗМ в мире сравнительно мало [13]. Наибольшая часть мировых извлекаемых запасов РЗМ сосредоточена в бастнезитовых месторождениях КНР (48%). Крупные запасы имеются также в месторождениях монацита в Австралии, Бразилии, КНР, Индии, Малайзии, ЮАР, Шри-Ланке, Таиланде и США. Мировые запасы РЗМ оцениваются в 120 млн т [5], запасы России составляют 20% от этой цифры [6]. Мировая добыча РЗМ в последние полтора десятилетия росла весьма быстрыми темпами. В 2017 г. объём добычи достиг 130 тыс. т [5]. Согласно прогнозам, к 2020 г. спрос на РЗМ вырастет до 200 тыс. т, из которых 130–150 тыс. пойдёт на самообеспечение Китая. Больше 30% потребления РЗМ пришлось в 2017 г. на производство магнитов электродвигателей [6]. Устойчивый рост использования РЗМ также наблюдался при производстве батарей, оптического стекла и керамики [5]. В целом потребление РЗМ в мире увеличивается в последние годы на 5% ежегодно. В 2017 г. экспортные китайские квоты РЗМ составили 38 тыс. т при соотношении лёгких и тяжёлых, равном 7:1 [5]. В 2018 г. доля Китая составляла более 86% мирового производства. Новые проекты по разработке месторождений в других странах в 2017 г. дали суммарно всего 25 тыс. т РЗМ. Следует отметить, что по ценности 1 т руды (в долларах США) среди новых осваиваемых

объектов в мире третье место занимает месторождение Томтор в Арктической зоне России [13].

С месторождениями в Арктической зоне связаны практически все балансовые запасы РЗМ России [4, 6, 11]. Основная доля — более 40% — заключена в разрабатываемых Хибинских месторождениях апатит-нефелиновых руд. Остальные запасы приходятся на комплексные лопаритовые руды (совместно с Та, Nb, Ti) Ловозёрского месторождения (более 25%) и на коры выветривания редкометалльных карбонатитов месторождения Томтор, содержащие попутный Nb (около 10%) [6]. Все РЗМ в России извлекаются из лопаритовых руд Ловозёрского месторождения. Полученный лопаритовый концентрат с содержанием оксидов редкоземельных металлов (РЗО) на уровне 28–30% направляется на металлургическую переработку на Соликамский металлургический завод, где из него производятся карбонаты и оксиды смешанных РЗО [6]. Свыше 70% редкоземельных элементов используется на предприятиях ОАО “Российская электроника” и холдинга “Швабе” (входят в ГК “Ростех”), 20–25% — в системе Росатома, 5% — в металлургическом секторе (как добавки к легированным сталям), остальное — нефтехимией и другими отраслями [6].

Согласно Госпрограмме “Развитие промышленности и её конкурентоспособности на период до 2020 г.” [14], Россия к 2020 г. должна выйти на самообеспечение РЗМ и полностью отказаться от импорта [11]. По расчётам Минпромторга России, спрос на РЗМ в нашей стране к 2020 г. составит 5–7 тыс. т, по оптимистичному прогнозу — до 13 тыс. т. В расчётах предусмотрен ежегодный экспорт на уровне 7–10 тыс. т в том случае, если программа будет реализована в полном объёме. Необходимо отметить, что при ежегодной переработке более 7 млн т апатита, извлекая попутно РЗМ, Россия смогла бы удовлетворить почти 50% мирового спроса.

* * *

Выполненный анализ показал, что современное состояние минерально-сырьевой базы стратегических металлов в Арктике вполне удовлетворительное и обеспечивает устойчивое развитие экономики стран в её пределах. Такую же оценку можно дать и по отдельным арктическим национальным секторам. Горнодобывающая промышленность, несмотря на экологические проблемы, имеет значительные перспективы развития практически во всех секторах Арктики, в частности, на территории Арктической зоны России. Имеющиеся активные запасы позволяют увеличить добычу минерального сырья в Арктике до 1.5–2 раз.

Недра российской Арктики имеют значительный ресурсный потенциал критических металлов (включая “батарейные”), необходимых для реализации “зелёных” технологий, что открывает возможность создания новых предприятий или значительного увеличения объёмов производства на уже действующих. Реализация этого потенциала осложняется отсутствием достоверной информации о количестве в рудах и концентратах известных месторождений попутных критических металлов, нерешёнными технологическими вопросами их извлечения и низкой рентабельностью производства. Поэтому детальное изучение содержания попутных критических металлов в рудах комплексных месторождений Арктической зоны России должно быть определено в качестве одного из главных направлений научных исследований. Несомненно, что огромный потенциал ещё не открытых месторождений российского сектора Арктики заслуживает большего внимания геологоразведочных и горнодобывающих компаний.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 18-05-70001 “Изучение геологических и геодинамических обстановок формирования крупных месторождений стратегических металлов Арктической зоны России: выводы для прогнозирования и поиска новых месторождений”.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future. Washington: The World Bank, 2017. <http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf> (дата обращения 15.09.2019).
2. Coulomb R., Dietz S., Godunova M., Nielsen Th.B. Critical minerals today and in 2030: an analysis of OECD countries. OECD Environment Working Papers. № 91. OECD Publishing, Paris, 2015. <https://pdfs.semanticscholar.org/6df4/a9cfe09f25d8f11f4dab08934fbf26acbc41.pdf> (дата обращения 15.09.2019).
3. Государственная программа РФ (новая редакция) “Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2025 года”. Утверждена постановлением Правительства РФ от 31 августа 2017 г. № 1064. URL: <http://static.government.ru/media/files/GGu3GT-tv8bvV8gZxSEAS1R7XmzloK6ar.pdf> (дата обращения 15.09.2019).
4. Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В. и др. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудных месторождений. 2015. № 6. С. 479–500.
5. Mineral Commodity Summaries 2017. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2018.

6. Государственный доклад “О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах”. М.: ФГБУ “ВИМС”, 2018.
7. Inclusive Green Growth. The Pathway to Sustainable Development. Washington: The World Bank, 2012.
8. Managing Materials for a Twenty-first Century Military. Washington, DC: The National Academies Press, 2008.
9. Global EV Outlook 2019 Paris: IEA, 2019.
10. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов России: состояние и перспективы развития // Геология рудных месторождений. 2016. № 2. С. 97–119.
11. Волков А.В., Галямов А.Л., Лобанов К.В. Минеральное богатство Циркумарктического пояса // Арктика: Экономика и Экология. 2019. № 1. С. 106–117.
12. Weng Z., Jowitt S.M., Mudd G.M., Haque N.A. Detailed assessment of global rare earth element resources: Opportunities and challenges // Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. 2015. V. 110. P. 1925–1952.
13. Петров И.М. Обзор проектов по освоению месторождений редкоземельных металлов в мире // Разведка и охрана недр. 2014. № 9. С. 11–13.
14. Государственная программа “Развитие промышленности и её конкурентоспособности на период до 2020 г.”. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 30 января 2013 г. № 91-р. М.: Минпромторг РФ, 2013.