

УДК 553.493.5

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

© 2023 г. Н. С. Бортников^а*, А. В. Волков^а, А. Л. Галямов^а,
И. В. Викентьев^а, А. В. Лаломов^а, К. Ю. Мурашов^а

^аИнститут геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*E-mail: bns@igem.ru

Поступила в редакцию 01.07.2023 г.

После доработки 10.07.2023 г.

Принята к публикации 12.07.2023 г.

В статье рассмотрена проблема самообеспечения России импортозависимыми видами (включая критические) стратегического минерального сырья. Показано, что в последние годы Правительство России уделяет много внимания проблемам развития минерально-сырьевой базы (МСБ) стратегического сырья: в 2018 г. утверждена Стратегия развития МСБ Российской Федерации до 2035 года, а в 2022 г. утвержден обновленный впервые за 26 лет “Перечень основных видов стратегического минерального сырья (СМС)”. В статье отмечено, что по большинству позиций Перечня достигнуто самообеспечение СМС. По 17 позициям Перечня промышленность Российской Федерации сильно зависит от импортных поставок, а по отдельным позициям эта зависимость достигает 100%. Несмотря на это, многие отечественные месторождения СМС, критически зависимых от импорта, не разрабатываются, в связи с низкой рентабельностью. Выполненный в статье анализ показал, что Россия может полностью заместить импорт минерального сырья за счет развития собственной МСБ СМС. Наиболее быстрыми темпами самообеспечение может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений, кор выветривания и рециклинга.

Ключевые слова: Россия, высокотехнологичная промышленность, минерально-сырьевая база, самообеспечение, импортозависимость, перечень стратегических видов минерального сырья, россыпные месторождения, техногенное сырье

DOI: 10.31857/S0016777023050039, EDN: WTJQSG

ВВЕДЕНИЕ

В XX–XXI вв. спрос на полезные ископаемые растет по мере увеличения численности населения планеты. В последние годы полезные ископаемые используются все в более широком спектре областей, особенно связанных с внедрением новых технологий. Глобальная добыча основных видов минерального сырья достаточно быстро растет в соответствии с увеличением спроса. Также значительно увеличивается и потребление высокотехнологичных металлов (Бортников и др., 2022).

История свидетельствует о том, что растущий спрос на полезные ископаемые и более высокие цены, как правило, приводят к технологическим и научным инновациям, которые, в свою очередь, стимулируют появление новых или альтернативных источников минерального сырья. Недавние оценки мировых запасов полезных ископаемых свидетельствуют о том, что будущий спрос на полезные ископаемые возможно удовлетворить при условии продолжения инвестиций в науку и тех-

нологии. Не вызывает сомнения, что в будущем сохранится два основных источника металлов — это крупные и гигантские месторождения, а также рециклинг.

Сокращение потребления энергии и разрыв существующей связи с развитием металлургических производств и выбросами парниковых газов — одни из самых важных современных проблем в мире, прямо связаны с обеспечением устойчивого снабжения минеральным сырьем. По прогнозу организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСД), в результате “перехода к зеленым технологиям” мировой спрос на металлы повысится быстрее, чем на любое другое сырье: с 8 до 20 гигатонн в год к 2060 г. (Coulomb et al., 2015). В последние годы особенно стремительно растет производство солнечной и ветровой электроэнергии в ведущих странах мира.

Статья подготовлена научным коллективом исследователей ИГЕМ РАН по Проекту Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018: “Фундаментальные проблемы

развития минерально-сырьевой базы высокотехнологической промышленности и энергетики России". Статья написана на основе доклада, представленного 2 февраля 2023 года на научной конференции "Металлы и минералы при переходе к зеленой энергетике" (Лаверовские чтения-2023) в Москве, под эгидой 300-летия Российской академии наук.

В предыдущих публикациях мы показали, что отечественная экономика может быть полностью обеспечена отечественным стратегическим минеральным сырьем (Бортников и др., 2015, 2016, 2022). В данной статье рассмотрены проблемы самообеспечения России импортозависимыми видами (включая критические) стратегического минерального сырья.

При подготовке статьи, кроме результатов проекта, были использованы опубликованные данные и отчеты федеральных органов исполнительной власти, профильных научно-исследовательских институтов, отраслевых экспертов и аналитиков информационных агентств.

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В последние годы Правительство России уделяет много внимания проблемам развития МСБ стратегических и высокотехнологичных металлов. Указом Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. утверждена Стратегия развития МСБ Российской Федерации до 2035 года (Стратегия..., 2018). В Стратегии цирконий, бериллий, литий, рений, редкие земли иттриевой группы включены в *группу дефицитных полезных ископаемых*, внутреннее потребление которых в значительной степени обеспечивается вынужденным импортом и (или) складированными запасами. Месторождения этих металлов характеризуются преимущественно низким качеством.

В Стратегии подчеркивается, что российская МСБ практически каждого стратегического вида минерального сырья весьма значительна, что позволяет стране занимать лидирующие позиции в мире: по танталу – первое, по ниобию, РЗМ, германию – второе, по литию, цирконию, бериллию – третье.

Сравнительно недавно, распоряжением от 30 августа 2022 года Правительство Российской Федерации утвердило обновленный впервые за 26 лет "Перечень основных видов стратегического минерального сырья". Предыдущий Перечень действовал с 16 августа 1996 года и содержал 29 позиций, новый – расширен до 61 позиции (фиг. 1).

К основным видам стратегического минерального сырья в России отнесены: нефть, природный газ, гелий, уран, марганец, хром, титан, бок-

ситы, медь, свинец, сурьма, олово, цинк, никель, молибден, вольфрам, кобальт, золото, серебро, алмазы, графит, платиноиды: рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина; литий, рубидий, цезий, бериллий, скандий, иттрий, лантан, церий, празеодим, неодим, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций, индий, галлий, германий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, рений, апатитовые руды, калийные соли, плавленый шпат, особо чистое кварцевое сырье и подземные воды.

Распоряжение предусматривает актуализацию перечня основных видов стратегического минерального сырья не реже, чем один раз в три года. В соответствии с утвержденным Перечнем планируется приоритетное финансирование работ по воспроизводству МСБ дефицитных видов стратегического минерального сырья за счет средств федерального бюджета.

Сравнительный анализ Перечня и статистических данных (Бортников и др., 2015, 2015, 2022; Госдоклад..., 2022) показывает, что самообеспечение РФ, кроме углеводородов, достигнуто по следующим видам стратегического минерального сырья: меди, никелю, свинцу, цинку, молибдену, вольфраму, олову, цирконию, кобальту, платиноидам, золоту, серебру, алмазам, фосфатам, калийным солям и особо чистому кварцевому сырью. Под самообеспечением понимается способность страны удовлетворить текущий и прогнозируемый в среднесрочной перспективе внутренний спрос за счет собственного производства и на собственной ресурсной базе. Перспективы наращивания экспорта на внешние рынки перечисленных видов минерального сырья в рамках подобного анализа экспертами обычно не рассматриваются, хотя такая задача вполне может быть поставлена в связи с государственной необходимостью. Ниже приведен пример последних лет по достижению РФ самообеспечения (импортозамещения) циркониевым сырьем.

Минералы-носители циркониевого сырья – циркон ($ZrSiO_4$) и в незначительной степени (5%) – бадделеит (ZrO_2), а в перспективе, возможно, эвдиалит. Цирконий применяется в атомной энергетике, производстве термостойкой керамики и эмалей, медицине и др.

Россия находится на третьем месте в мире по величине запасов циркония с долей в 6%. Балансовые запасы по сумме категорий – 12.4 млн т. Однако доля РФ в мировом производстве циркониевых концентратов не превышает 1%. Отметим, что мировые запасы циркония на 90% связаны с россыпями.

Основная часть российских балансовых запасов циркония (68.9%) сосредоточена в пяти крупных месторождениях трех геолого-промыш-

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

ВЫДЕЛЕН 51 ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ
ИЗ НОВОГО ПЕРЕЧНЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ
ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА																																
I A																	VIII A															
1	1.00794 1H ВОДОРОД																4.00260 2He ГЕЛИЙ															
2	6.941 3Li ЛИТИЙ	9.01218 4Be БЕРИЛЛИЙ															10.811 5B БОР	12.0107 6C УГЛЕРОД	14.0067 7N АЗОТ	15.9994 8O КИСЛОРОД	18.9984 9F ФТОР	20.1797 10Ne НЕОН										
3	22.9898 11Na НАТРИЙ	24.3050 12Mg МАГНИЙ															26.9815 13Al АЛЮМИНИЙ	28.0855 14Si КРЕМНИЙ	30.9738 15P ФОСФОР	32.065 16S СЕРА	35.453 17Cl ХЛОР	39.948 18Ar АРГОН										
4	39.0983 19K КАЛИЙ	40.078 20Ca КАЛЬЦИЙ	44.9559 21Sc СКАНДИЙ	47.867 22Ti ТИТАН	50.9415 23V ВАНАДИЙ	51.9961 24Cr ХРОМ	54.9380 25Mn МАРГАНЕЦ	55.845 26Fe ЖЕЛЕЗО	58.9332 27Co КОБАЛЬТ	58.6934 28Ni НИКЕЛЬ	63.546 29Cu МЕДЬ	65.38 30Zn ЦИНК	69.723 31Ga ГАЛЛИЙ	72.63 32Ge ГЕРМАНИЙ	74.9216 33As МЫШЬЯК	78.96 34Se СЕЛЕН	79.904 35Br БРОМ	83.798 36Kr КРИПТОН														
5	85.4678 37Rb РУБИДИЙ	87.62 38Sr СТРОНЦИЙ	88.9058 39Y ИТТРИЙ	91.224 40Zr ЦИРКОНИЙ	92.9064 41Nb НИОБИЙ	95.96 42Mo МОЛИБДЕН	[98] 43Tc ТЕХНЕЦИЙ	101.07 44Ru РУТИНИЙ	102.905 45Rh РОДИЙ	106.42 46Pd ПАЛЛАДИЙ	107.868 47Ag СЕРЕБРО	112.411 48Cd КАДМИЙ	114.818 49In ИНДИЙ	118.710 50Sn ОЛОВО	121.760 51Sb СУРЬМА	127.60 52Te ТЕЛУР	126.904 53I ЙОД	131.293 54Xe КСЕНОН														
6	132.905 55Cs ЦЕЗИЙ	137.327 56Ba БАРИЙ	174.967 71Lu ЛУТЕЦИЙ	178.49 72Hf ГАФНИЙ	180.948 73Ta ТАНТАЛ	183.84 74W ВОЛЬФРАМ	186.207 75Re РЕНИЙ	190.23 76Os ОСМИЙ	192.217 77Ir ИРИДИЙ	195.084 78Pt ПЛАТИНА	196.967 79Au ЗОЛОТО	200.59 80Hg РУТЬ	204.383 81Tl ТАЛЛИЙ	207.2 82Pb СВИНЕЦ	208.980 83Bi ВИСМУТ	[209] 84Po ПОЛОНИЙ	[210] 85At АСТАТ	[222] 86Rn РАДОН														
7	[223] 87Fr ФРАНЦИЙ	[226] 88Ra РАДИЙ	[262] 103Lr ЛОРЕНСИЙ	[267] 104Rf РЕФЕРОЦИЙ	[270] 105Db ДУБНИЙ	[271] 106Sg СИБОРГИЙ	[274] 107Bh БОРИЙ	[277] 108Hs ХАССИЙ	[281] 109Mt МЯГНЕИЙ	[281] 110Ds ДАРМШТАДИЙ	[281] 111Rg РЕНТЕНИЙ	[285] 112Cn КОПЕРНИЦИЙ	[286] 113Uut ФЛЕРОВИЙ	[289] 114Fl ФЛЕГРОВИЙ	[289] 115Uup ЭНШТЕЙНИЙ	[293] 116Lv ЛИВЕРМОРИЙ	[294] 117Uus АСТАТ	[294] 118Uuo ОГАНЕСИЙ														
*	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">138.905 57La ЛАНТАН</td> <td style="text-align: center;">140.116 58Ce ЦЕРИЙ</td> <td style="text-align: center;">140.908 59Pr ПРАЗЕОДИЙ</td> <td style="text-align: center;">144.242 60Nd НЕОДИЙ</td> <td style="text-align: center;">[145] 61Pm ПРОМЕТИЙ</td> <td style="text-align: center;">150.36 62Sm САМАРИЙ</td> <td style="text-align: center;">151.964 63Eu ЕВРОПИЙ</td> <td style="text-align: center;">157.25 64Gd ГАДОЛИНИЙ</td> <td style="text-align: center;">158.925 65Tb ТЕРБИЙ</td> <td style="text-align: center;">162.500 66Dy ДИСПРОЗИЙ</td> <td style="text-align: center;">164.930 67Ho ГОЛЬМИЙ</td> <td style="text-align: center;">167.259 68Er ЭРБИЙ</td> <td style="text-align: center;">168.934 69Tm ТУЛИЙ</td> <td style="text-align: center;">140.908 70Yb ИТТЕРБИЙ</td> </tr> </table>																		138.905 57La ЛАНТАН	140.116 58Ce ЦЕРИЙ	140.908 59Pr ПРАЗЕОДИЙ	144.242 60Nd НЕОДИЙ	[145] 61Pm ПРОМЕТИЙ	150.36 62Sm САМАРИЙ	151.964 63Eu ЕВРОПИЙ	157.25 64Gd ГАДОЛИНИЙ	158.925 65Tb ТЕРБИЙ	162.500 66Dy ДИСПРОЗИЙ	164.930 67Ho ГОЛЬМИЙ	167.259 68Er ЭРБИЙ	168.934 69Tm ТУЛИЙ	140.908 70Yb ИТТЕРБИЙ
138.905 57La ЛАНТАН	140.116 58Ce ЦЕРИЙ	140.908 59Pr ПРАЗЕОДИЙ	144.242 60Nd НЕОДИЙ	[145] 61Pm ПРОМЕТИЙ	150.36 62Sm САМАРИЙ	151.964 63Eu ЕВРОПИЙ	157.25 64Gd ГАДОЛИНИЙ	158.925 65Tb ТЕРБИЙ	162.500 66Dy ДИСПРОЗИЙ	164.930 67Ho ГОЛЬМИЙ	167.259 68Er ЭРБИЙ	168.934 69Tm ТУЛИЙ	140.908 70Yb ИТТЕРБИЙ																			
**	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">[227] 89Ac АКТИНИЙ</td> <td style="text-align: center;">232.038 90Th ТОРИЙ</td> <td style="text-align: center;">231.036 91Pa ПРОАКТИНИЙ</td> <td style="text-align: center;">238.029 92U УРАН</td> <td style="text-align: center;">[237] 93Np НЕПТУНИЙ</td> <td style="text-align: center;">[244] 94Pu ПУТОНИЙ</td> <td style="text-align: center;">[243] 95Am АМЕРИЦИЙ</td> <td style="text-align: center;">[247] 96Cm КЮРИЙ</td> <td style="text-align: center;">[247] 97Bk БЕРКЛИЙ</td> <td style="text-align: center;">[251] 98Cf КАЛИФОРНИЙ</td> <td style="text-align: center;">[252] 99Es ЭЙНШТЕЙНИЙ</td> <td style="text-align: center;">[257] 100Fm ФЕРМИЙ</td> <td style="text-align: center;">[258] 101Md МЕНДЕЛЕВИЙ</td> <td style="text-align: center;">[259] 102No НОБЕЛИЙ</td> </tr> </table>																		[227] 89Ac АКТИНИЙ	232.038 90Th ТОРИЙ	231.036 91Pa ПРОАКТИНИЙ	238.029 92U УРАН	[237] 93Np НЕПТУНИЙ	[244] 94Pu ПУТОНИЙ	[243] 95Am АМЕРИЦИЙ	[247] 96Cm КЮРИЙ	[247] 97Bk БЕРКЛИЙ	[251] 98Cf КАЛИФОРНИЙ	[252] 99Es ЭЙНШТЕЙНИЙ	[257] 100Fm ФЕРМИЙ	[258] 101Md МЕНДЕЛЕВИЙ	[259] 102No НОБЕЛИЙ
[227] 89Ac АКТИНИЙ	232.038 90Th ТОРИЙ	231.036 91Pa ПРОАКТИНИЙ	238.029 92U УРАН	[237] 93Np НЕПТУНИЙ	[244] 94Pu ПУТОНИЙ	[243] 95Am АМЕРИЦИЙ	[247] 96Cm КЮРИЙ	[247] 97Bk БЕРКЛИЙ	[251] 98Cf КАЛИФОРНИЙ	[252] 99Es ЭЙНШТЕЙНИЙ	[257] 100Fm ФЕРМИЙ	[258] 101Md МЕНДЕЛЕВИЙ	[259] 102No НОБЕЛИЙ																			

Фиг. 1. В периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева выделен красным 51 химический элемент из обновленного Перечня стратегических видов минерального сырья.

ленных типов: трех редкометального щелочно-гранитного типа (Улуг-Танзекском в Республике Тыва, Зашихинском в Иркутской области и Катугинском месторождении в Забайкальском крае), одного карбонатитового (Ковдорское в Мурманской области) и одного, представляющего собой литифицированную россыпь (Пижемское в Республике Коми). В погребенных прибрежно-морских россыпях содержится 31.1% запасов.

Руды Улуг-Танзекского, Катугинского и Пижемского месторождений – труднообогатимые (Госдоклад ..., 2022). Многие из балансовых месторождений находятся в удаленных районах со слабо развитой инфраструктурой.

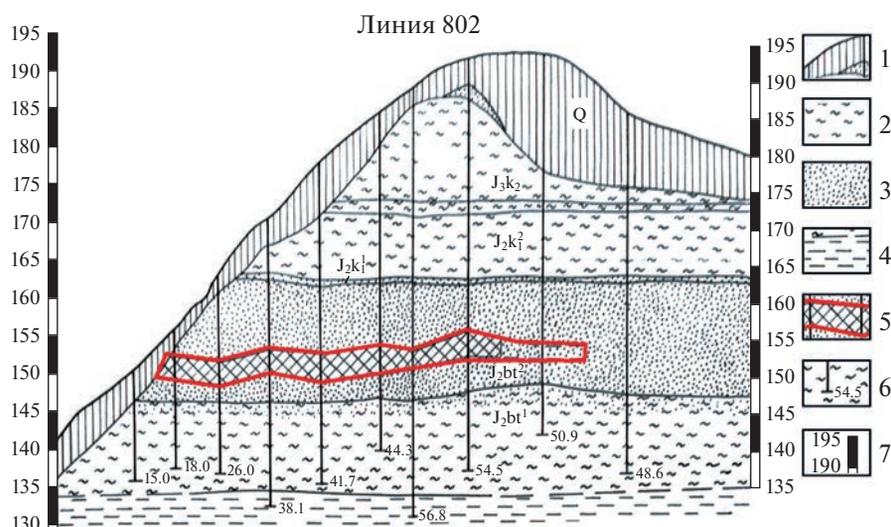
Видимое потребление циркониевых концентратов в России составляет 9.9–11.6 тыс. т в год. Более чем на 90% оно обеспечивается импортными цирконовыми концентратами, в незначительной степени – отечественным бадделейтовым сырьем.

В России перспективы самообеспечения циркониевым сырьем были связаны с двумя месторождениями: россыпным Туганским и коренным Зашихинским. В апреле 2022 Туганский ГОК вышел на проектную мощность первой очереди (2.4 тыс. т ZrO₂). С выходом на полную мощность в 2029 г ГОК сможет обеспечить поставку 14.7 тыс. т ZrO₂, что закроет текущие потребности страны.

Еще один перспективный объект – находящееся в 180 км к югу от Нижнего Новгорода Лукояновское месторождение титаноциркониевых песков (фиг. 2), богатейшее по содержанию циркона в России (13 кг/м³) и второе в мире после австралийской россыпи Атлас-буна Нарринг с содержанием 17.4 кг/м³. Подтвержденные запасы рудных песков (C₁ + C₂) 30 млн т и прогнозные ресурсы (P₁ + P₂) более 100 млн т. На балансе стоит детально разведанный Итмановский участок месторождения, запасы которого, разведанные по категории C₁ + C₂ – 388.9 тыс. т. Запасы содержащегося в цирконе диоксида гафния оценены в 6.3 тыс. т при содержании 0.2 кг/м³. Кроме того, участок содержит запасы оксида титана около 1 млн т (в ильмените, рутиле и лейкоксене). Около 40% запасов участка могут быть отработаны карьером, остальные – по технологии скважинной гидробоуцы. Россыпь содержит ильменит-хромит-гематитовый продукт, который трудно поддается разделению и осложняет технологические свойства продуктивных «песков».

Запасы только двух россыпных объектов (Туганского и Итмановского) могут обеспечить потребности России в циркониевом сырье на текущем уровне приблизительно на 130 лет.

Стоимость циркониевых концентратов с поставкой из Австралии с 2016 по 2022 год выросла с



Фиг. 2. Геологический разрез Итмановского участка Лукояновского титано-циркониевого месторождения (Осипов, 1985ф)¹

1 – почвенно-растительный слой; 2 – глины; 3 – пески; 4 – алевриты; 5 – промышленный пласт; 6 – скважины (глубина, м); 7 – высотные отметки. Среднеюрские отложения: J₂bt – батский ярус; J₂k – келловейский ярус.

810 до 1855 долл/т (Госдоклад ..., 2022), что указывает на перспективность инвестиций в отечественное циркониевое сырье.

ПРОБЛЕМА ЗАВИСИМОСТИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ ОТ ИМПОРТА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В современных геополитических условиях зависимость высокотехнологичной промышленности Российской Федерации от импортных поставок стратегических видов минерального сырья – серьезная угроза национальной безопасности страны. Поэтому важнейший приоритет государственной политики России – импортозамещение и создание производств полного цикла на основе отечественной МСБ стратегических видов минерального сырья.

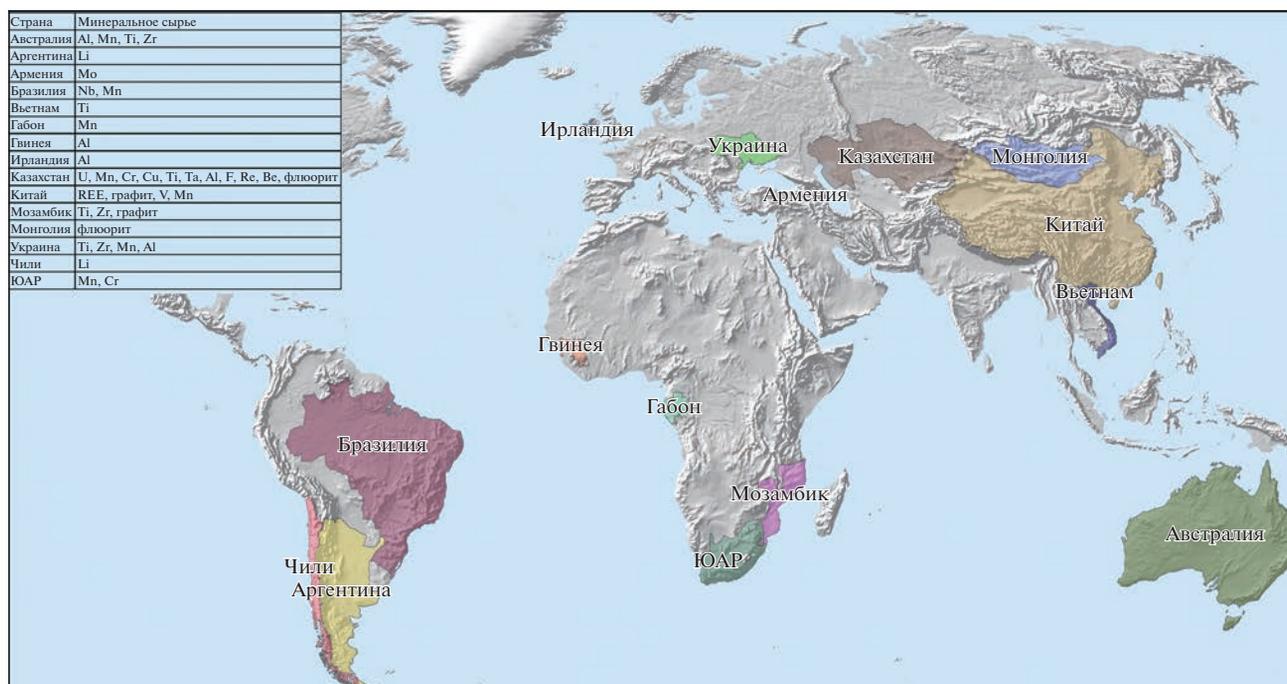
По данным Счетной палаты РФ (Кульбас, 2021), за 2018–2020 гг. Россия импортировала более трети стратегических видов минерального сырья и свыше 60% дефицитных видов полезных ископаемых (с учетом импорта “перделов”). По ряду наименований, в частности по марганцу, хрому, титану и литию, российские потребности полностью покрываются исключительно импортом, а по цирконию этот показатель составляет 87.2%.

¹ Осипов А.П., Отчет о поисково-оценочных работах в пределах центральной части Лукояновского титано-циркониевого м-ния (Итмановская залежь) в Лукояновском р-не Горьковской обл., выполненных Лукояновской ГПП в 1982–85 гг. Горький: Лукояновское ГПП, 1985.

Счетная палата также отметила высокую долю импорта по некоторым видам минерального сырья, которые не являются стратегическими, но имеют важное значение для развития промышленности: йод – 100%, плавиковый шпат – 95%, бентониты для литейного производства – 89.6%, каолин – 68.3%. Они имеют широкую область применения и используются в металлургической, химической, атомной, медицинской и прочих отраслях. Также российские предприятия частично обеспечиваются по таким стратегическим видам минеральных ресурсов, как бокситы (доля импорта за 3 года – 68.6%), медь (49.6%), молибден (40.2%). Россия также импортирует (100%): соединения бериллия, оксиды разделенных РЗЭ или индивидуальные металлы и их смеси (Кульбас, 2021).

За прошедшие 3 года, ситуация с обеспеченностью страны собственным сырьем практически не изменилась, а импортозависимость по ряду видов стратегического минерального сырья, например, по марганцу, литию и титану, стала еще более острой. Основными поставщиками стратегических и дефицитных видов минерального сырья в Россию выступают Казахстан, Чили, Китай, Монголия, ЮАР, Гвинея, Украина и другие страны (фиг. 3).

Аналитики МЭР и Минпромторга полагают, что большинство из этих импортозависимых видов стратегического минерального сырья могут испытывать очень большой рост спроса к 2030 г. и в дальнейшем. Этот вывод полностью согласуется с общемировой тенденцией (Стратегия..., 2022).



Фиг. 3. Главные поставщики стратегического минерального сырья в Россию, по данным (Госдоклад..., 2022; Кульбас, 2021).

Самостоятельная товарная продукция производится в России только из двух собственных месторождений: Ловозерского в Мурманской области – титан, ниобий, тантал, РЗМ – и Павловского в Приморском крае – германий. Кроме того, в качестве попутных компонентов запасы ряда стратегических видов минерального сырья учтены и извлекаются (в небольших объемах) из 24 комплексных месторождений. По ряду стратегических видов минерального сырья нет достоверных статистических данных. В стране полностью отсутствует добыча лития и бериллия (Бортников и др., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОСТРАНСТВЕННО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ГИС-АНАЛИЗА

На территории России насчитывается более 1400 месторождений с промышленными содержаниями дефицитных в стране полезных ископаемых (фиг. 4). В их число входят более 30 крупных месторождений (Стрельцовское, Элькон, Катугинское, Ловозеро, Томторское, Ковдорское и др.). Основными компонентами их руд являются бокситы, U, Mn, Nb, Ta, РЗЭ, Ti и флюорит. Большинство средних и малых месторождений цветных, черных, редких и радиоактивных металлов ориентированы на добычу W, Mo, U, Be, Nb, Ta, РЗЭ, Ti, Cr и U.

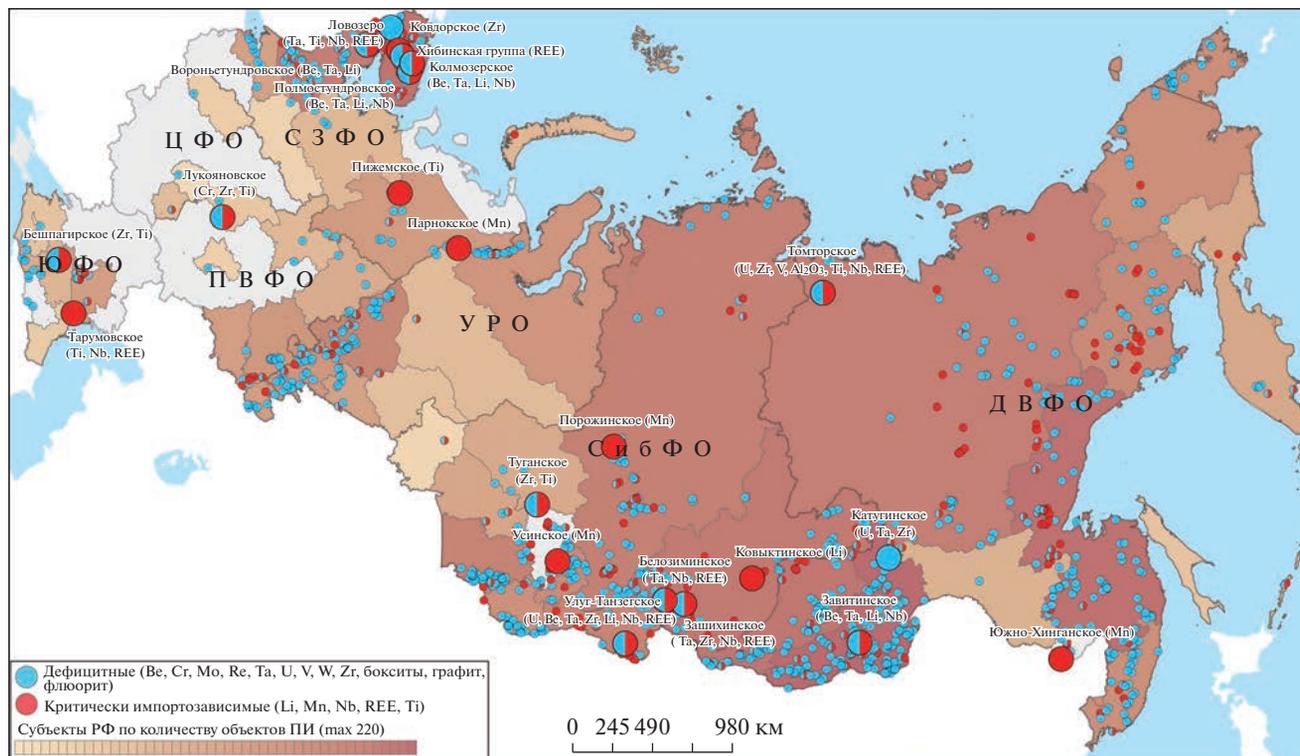
Дефицитные полезные ископаемые Al, W и Mo (табл. 1), относящиеся к бокситовому, кассите-

рит-силикатному и вольфрам-молибденовому грейзеновому типам, а также к медно-молибден-порфировому и колчеданно-полиметаллическому в терригенных породах (Красная Шапочка, Богословское, Сосьвинское, Быстринское, Песчанка, Холоднинское и др.), содержатся в рудах более 400 месторождений цветных металлов.

Руды Cr, V, Mn, Ti (табл. 1) включают почти 300 месторождений черных металлов (Большой Сейим, Чинейское, Порожинское и др.), которые связаны с различными минеральными типами: апатит-ильменитовым и ильменит-магнетитовым в габброидах, магнетитовым вулканогенным, ванадий-титановым в ультрамафит-мафитах, марганцевым в карбонатных породах и корях выветривания.

Редкие металлы Be, Nb, Ta, Zr, Li и РЗЭ (табл. 1) содержатся в рудных телах более 200 месторождений (Катугинское, Зашихинское, Ловозеро, Томторское, Селигдар, Ковдорское и др.), локализованных в редкоземельно-тантал-ниобиевых щелочных гранитоидах, апатит-нефелиновых в расслоенных щелочных интрузиях, ультраосновных-щелочных интрузиях и карбонатитах, грейзенах с флюоритом и турмалином, в карбонатитовых и апатит-редкометалльных переотложенных корях выветривания.

Урановые руды таких минеральных типов, как фтор-молибден-урановый, гумбеитовый, “несогласия” и “погребенных палеодолин”, размеща-



Фиг. 4. Карта распределения основных месторождений и перспективных рудопроявлений дефицитных и критически импортозависимых СМС. Карта составлена в результате пространственно-статистического ГИС-анализа.

ются в более чем 200 месторождениях (Стрельцовское, Далматовское, Хиагдинское, Элькон и др.).

По количеству месторождений дефицитного минерального сырья в России лидируют регионы Сибири. На территории старейших горнорудных районов Забайкалья сосредоточены более 200 месторождений (в т.ч. крупные Стрельцовское, Катугинское, Чинейское, Быстринское), руды которых содержат, в основном, недооцененные ресурсы импортозависимых Li, Mn, REE, Ti, Nb. В

Хабаровском крае размещаются более 100 средних и малых месторождений также с недооцененными ресурсами Be, Ta, Zr, Cr, Mo, U, V, W, Mn, Nb, REE, Ti.

В целом в десяти сибирских субъектах РФ почти 800 месторождений содержат длинный ряд дефицитных компонентов – Be, Ta, Mo, Zr, U, V, W, CaF, Cr, Al₂O₃, Re, а также импортозависимых – Li, Mn, REE, Ti, Nb.

Таблица 1. Соотношение количества месторождений дефицитных полезных ископаемых по группам металлов

Группа	Кол-во объектов в группе	Дефицитные										Импортозависимые					
		боксит	Be	флюорит	Cr	Mo	Re	Ta	U	V	W	Zr	Li	Mn	Nb	REE	Ti
Цветные	475	38	5			172		1	5	11	233		1		1	1	7
Черные	292		1	8	90	3		1	7	38	4	14		28	1		97
Редкие	375		70	7		6	2	64	4		7	28	35		66	83	3
Радиоактивные	240		1		1	9		1	219	5				1	1	2	
Меднорудные	49		1			42	1	1			3		1				
Благородные	39		1		1	7				1	6					22	1
Свинцово-цинковые	10					2			3		2		1	1		1	
Неметаллы	10			10													
Горючие	8												1				7



Фиг. 5. Импортозависимые стратегические виды минерального сырья, по данным Минприроды РФ.

В Южной Сибири (Алтай, Кузнецкий Алатау, Тыва и Хакасия) почти 200 месторождений имеют промышленные концентрации дефицитных Al_2O_3 , Be, Cr, Mo, V, W, Ta, Re, Zr, U, CaF и импортозависимых Ti, Li, Nb, REE, Mn.

В Уральском округе (9 субъектов РФ) находится более 200 месторождений с промышленными содержаниями Al_2O_3 , Be, Ta, Cr, Mo, Re, V, W, Zr, CaF, U, Mn, REE, Nb, Ti.

Северо-западный округ известен своими крупными месторождениями редких металлов (Ловозеро, Ковдорское, Ждановское). В этом регионе насчитывается около 200 малых месторождений с Be, CaF, Ta, Cr, V, Mo, Zr, U, Al_2O_3 , U, W, Nb, REE, Ti, Li, Mn, ресурсы которых недооценены.

Наиболее малочисленны в стране месторождения рения и лития. Запасы и ресурсы рения оценены в рудах единичных месторождений медно-молибден-порфирирового типа (Аксуг, Республике Тыва и др.). Около 30 небольших по масштабу месторождений Li связаны с редкометальными пегматитами и щелочными метасоматитами (Колмозерское, Полмозерское и др. в Мурманской области, Баянгол в Республике Тыва, Завитинское в Забайкалье и др.); многие из них имеют незначительные ресурсы, либо недооценены. Оценка запасов и ресурсов подземных рассолов с содержаниями лития на газовом Ковыктинском месторождении в Иркутской области и других аналогичных объектах (в Дагестане, Якутии) могут существенно сократить дефицит лития.

КРИТИЧЕСКИ ЗАВИСИМЫЕ ОТ ИМПОРТА ВИДЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В последнее время сотрудники Минприроды (МПР) РФ из утвержденного перечня (см. выше)

выделяют 17 видов стратегического минерального сырья, зависимых от импорта (фиг. 5). Причем 12 видов стратегического минерального сырья из этого списка (синяя группа, см. фиг. 5) частично добываются на территории России или имеют надежные каналы импортных поставок из дружественных стран. В то же время большое количество продуктов металлургического передела из импортируемого СМС не находят потребителя внутри страны (Бортников и др., 2015, 2016, 2022).

В красную группу критически зависимых от импорта видов минерального сырья (фиг. 5) были объединены всего пять видов (Mn, Ti, Nb, Li, REE). По данным МПР РФ, эта группа имеет наиболее высокие риски остановки поставок. Именно на финансирование геологоразведки месторождений этой группы минерального сырья, по-видимому, планируется направлять в приоритетном порядке выделенные бюджетные средства.

В целях оценки текущего состояния МСБ и выявления проблем, требующих решения, в рамках настоящей статьи проведен анализ критически зависимых видов стратегического минерального сырья.

Марганец относится к черным металлам, как и железо. Приблизительно 90% всего Mn используется в черной металлургии – в виде ферромарганца (сплав Mn с железом), его добавляют в сталь для повышения износостойчивости, ковкости и прочности. Кроме того, Mn применяется для легирования, десульфурации и “раскисления” сталей.

В цветной металлургии Mn входит в состав ряда сплавов: в бронзу, латунь, алюминийевые и магниевые сплавы для улучшения их прочности и устойчивости к коррозии. Используется Mn и при изготовлении специального электротехнического сплава с медью и никелем, отличающегося высоким сопротивлением.

Соединения Mn также используются в органическом синтезе в качестве окислителей и катализаторов, в полиграфии, производстве красок, в стекольном и керамическом производстве, для создания экономных холодильных установок нового типа. Перманганат калия – известный антисептик в медицине, антидот при отравлении цианидами и алкалоидами; отбеливающее средство в текстильной промышленности; окислитель в органическом синтезе.

Суммарная потребность российской экономики в марганце составляет примерно 2.2 млн т в год, из которых 1.6 млн т (72% потребления) импортируется. Зависимость от импорта составляет 100% (1.3 млн т) по марганцевым рудам, 46% (192 тыс. т) по силикомарганцу, 100% (68 тыс. т) по марганцу металлическому, 10% (21 тыс. т) по ферромарганцу (Стратегия..., 2018). Импорт марганцевых руд в 2021 году составил 1394 тыс. т (Стратегия..., 2022).

Балансовые запасы марганцевых руд в Российской Федерации категорий A+B+C₁ составляют 137.5 млн т, категории C₂ – 146 млн т, в том числе в распределенном фонде недр находится 44% запасов. К основным месторождениям марганцевых руд относятся такие месторождения, как Усинское, Порожинское, Парнокское и Южно-Хинганское, содержащие 59% запасов марганцевых руд в Российской Федерации. К крупным месторождениям марганцевых руд относятся Усинское в Кемеровской области (55.5% от балансовых запасов страны) и Порожинское месторождение в Красноярском крае (12.8%). Основная доля запасов и прогнозных ресурсов высоких категорий расположена в Уральском (30.4%) и Сибирском (63%) федеральных округах.

Степень промышленного освоения российской минерально-сырьевой базы марганца низкая, поскольку часть месторождений представлена бедными (9–23% Mn) труднообогатимыми (фосфористыми, карбонатными) рудами, переработка которых по традиционным технологиям нерентабельна, что требует выработки мер государственной поддержки, направленных на освоение минерально-сырьевой базы марганца. Исключение составляет единственное Парнокское месторождение – 31%. В зарубежных объектах его среднее значение колеблется в диапазоне 37–38%.

Таким образом, работа многих металлопотребляющих предприятий России находится в зависимости от импорта марганцевого сырья. Так, 60% марганцевых концентратов и ферросплавов везут из Китая, Габона, Австралии, Бразилии и ЮАР (фиг. 3), что существенно увеличивает стоимость конечной продукции. Часть закупают в странах ближнего зарубежья – в Казахстане, Грузии и ранее на Украине (фиг. 3). В частности, бо-

лее 30% импортируемых Россией марганцевых сплавов поставляла украинская группа “Приват”.

Таким образом, по мнению Минпромторга, необходимо диверсифицировать импорт и, прежде всего, переориентироваться на дружественные страны, а также разрабатывать эффективные технологии переработки некондиционных руд (Стратегия..., 2022).

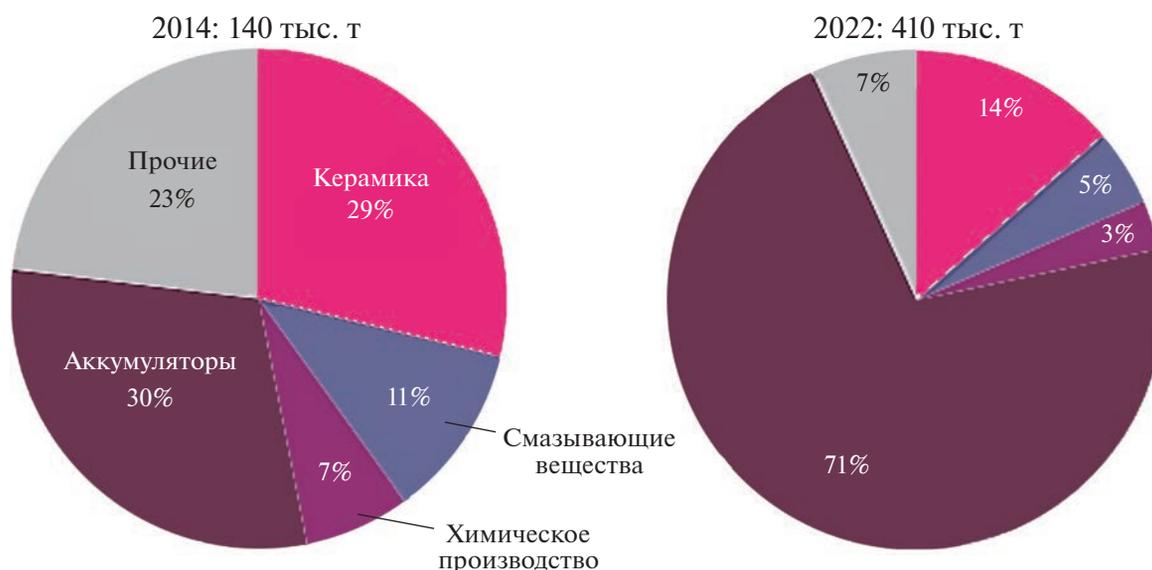
Литий сегодня – один из наиболее востребованных в мире военными и гражданскими отраслями промышленности редких металлов. В связи с открытием, разведкой и подсчетами запасов Li в последние 60 лет в десятках крупнейших месторождений мира с запасами от 1 до 11 млн т Li₂O в структуре его запасов и добычи произошли серьезные изменения: в настоящее время до 70% Li производится за счет эксплуатации рассолов и рапы бессточных соляных озер с содержаниями 0.06–0.5% Li₂O, а из редкометальных гранитных пегматитов со средними содержаниями 1.1–3.0% Li₂O получают всего 30% этого металла (Mineral..., 2022).

С учетом прогнозируемого роста количества электромобилей до 50–70 млн к 2025 г., сегмент автомобильных аккумуляторов в общей структуре спроса на металлургическую продукцию с 2014 по 2022 г. увеличился с 30% до 71% (фиг. 6). Мировых запасов лития хватит более чем на 100 лет добычи, млн т (Mineral..., 2022).

По запасам лития Россия занимает третье место в мире (около 1 млн т) (Мелентьев, 2016). Государственным балансом запасы лития учтены в 17 месторождениях. В распределенном фонде числятся четыре месторождения, однако литиевые месторождения не разрабатываются и литиевое сырье на территории Российской Федерации в настоящее время не производится. В структуре балансовых запасов ведущую роль играют пегматитовые месторождения (75%). По запасам и содержанию они несколько меньше и беднее зарубежных. Месторождения редкоземельных гранитов, где литий является побочным компонентом, до сих пор не представляют промышленного интереса. Залежи слюдяных флюоритовых метасоматитов присутствуют в виде небольших сырьевых объектов. В настоящее время добыча лития на территории России не ведется (Стратегия..., 2018).

В России имеется значительный дефицит лития, используемого в первую очередь для обеспечения атомной энергетики, систем накопления энергии, а также в качестве сырья при производстве шлакообразующих смесей для ковшей, смазок для горнорудных производств и создания производства литий-ионных аккумуляторных батарей.

Нераспределенный фонд составляют 13 месторождений. В их число входят и 7 собственно ли-



Фиг. 6. Производство аккумуляторов – главный фактор, обеспечивающий рост спроса на карбонат лития.

тивных месторождений в сподуменовых пегматитах – Вороньтундровское, Колмозерское, Полмостундровское в Мурманской области и др. Невысокие содержания лития в большинстве российских месторождений, неразвитая инфраструктура, несовершенство технологических схем обогащения не позволяют их рентабельно разрабатывать.

В 2021 году Россия импортировала около 8 тыс. тонн карбоната лития, главным образом из Чили и Аргентины (фиг. 3). В 2020 г., на фоне пандемии коронавируса, – 7.5 тыс. тонн. В январе 2022 г. карбонат лития стоил более 48 тысяч долларов за тонну. По сравнению с январем 2021 г. он подорожал на 430 процентов. Следует отметить, что в карбонате лития содержание самого лития составляет 19%. Соответственно, цифры по карбонату лития примерно в пять раз выше, чем оценки по чистому металлу.

Российский рынок представлен только мощностями по переработке лития. Предприятия работают полностью на импортном сырье, уровень загрузки мощностей оценивается в 30%. Отечественная промышленность лития – это заводы по переработке карбоната лития (ПАО “Химико-металлургический завод” в Красноярске, ПАО “Новосибирский завод химических концентратов” (“Росатом”) и ООО “ТД Халмек” (Тульская обл.)). Из общего объема выпуска лития из импортируемого сырья (примерно в 2000 т) 400–700 т потребляется непосредственно в России, остальные 1300–1600 т экспортируются.

В целом спрос на литий в РФ, по экспертным данным, в настоящее время минимален и связан с атомной отраслью и ВПК. Кроме того, из лития

в России производят стекло и смазочные материалы. Учитывая, что производство лития – процесс энергоемкий, а электроэнергия в России значительно дешевле, чем в Европе и США, себестоимость отечественного металла достаточно привлекательна. Карбонат лития собственного производства планируется получить через 2–3 года (Стратегия..., 2022).

По данным Минпромторга, “Химико-металлургический завод” в г. Новосибирске оформляет лицензию на добычу лития из техногенных отвалов Завитинского месторождения в Забайкальском крае, кроме того, будут лицензированы месторождения в Мурманской области совместным предприятием Росатома и Норникеля. Планируется, что литий будет добываться на Ковыктинском месторождении из минерализованных подземных вод (проект Газпрома и Иркутской нефтяной компании).

В случае успешной реализации Завитинского проекта ожидается, что из 20 млн т отходов можно будет извлечь до 40 тыс. т карбоната лития. Потенциальные запасы лития в Ангаро-Ленском бассейне позволяют организовать добычу от 5000 до 10000 т в год, что сопоставимо с крупными международными компаниями. Столько планируется добывать и в Мурманской области.

Подготовленный еще в СССР проект добычи Li из рассолов Тарумовского месторождения (Дагестан) предполагал: суммарную годовую добычу – 5.5 млн м³ при суточном дебите 15000 м³, в том числе карбоната лития 4500 т; способ эксплуатации фонтанный. В энергетическом плане планировалось строительство Тарумовской ГеоТЭС мощностью 400 МВт (Отчет..., 2014).

Таблица 2. Параметры основных циркон-рутил-ильменитовых россыпей России

Месторождение	Генезис	TiO ₂		ZrO ₂	
		запасы A + B + C ₁ + C ₂ , тыс. т	среднее содержание, кг/м ³	запасы A + B + C ₁ + C ₂ , тыс. т	среднее содержание, кг/м ³
Восточно-Европейская мегапровинция					
Бешпагирское*	ППМ**	2630	20.9	620.6	5.1
Центральное	ППМ	6396	24.1	830.3	3.1
Лукояновское*	ППМ	166	5.5	388.9	13.0
Западно-Сибирская мегапровинция					
Тарское	ППМ	1001	32.2	181.4	6.4
Самсоновское	ППМ	1674	34.2	256.6	5.2
Туганское	ППМ	2502	19.7	1007.3	7.7
Георгиевское	ППМ	1568	17.6	408.8	4.9

Примечание. *Группа месторождений; **погребенные прибрежно-морские (ППМ).

Ускоренная реализация отмеченных выше проектов добычи литиевых руд в 2023–2030 гг. позволит в значительной степени обеспечить внутренние потребности в литиевом сырье и экспорт.

Титан. Минералы-носители титанового сырья – ильменит, рутил и лейкоксен (полиминеральный агрегат окислов титана и железа с кремнеземом). В незначительных количествах титан извлекается из лопарита попутно с редкими металлами. Около 95% титанового сырья потребляется в виде диоксида – для производства эрозионностойких красителей, материалов и отбеливателей, и только 5% – в металлургическом переделе.

Россия располагает одной из крупнейших в мире МСБ – 587.4 млн т TiO₂, что составляет 15% мировых запасов. При этом вклад страны в мировое производство концентратов титана составляет всего 3.1 тыс. т (0.03%), при этом Россия остается одним из ведущих производителей в мире изделий из металлического титана (30%) (ПАО “Корпорация ВСМПО-АВИСМА” и ОАО “Соликамский магниевый завод”) и пигментного диоксида титана (ООО “Титановые инвестиции”) за счет импорта титановых концентратов.

Российская сырьевая база титана включает месторождения четырех основных геолого-промышленных типов: магматогенные в основных породах (216.8 млн т TiO₂ или 36.9% балансовых запасов страны), магматогенные в щелочных породах (55.4 млн т TiO₂; 9.4%), литифицированные погребенные россыпи (297.2 млн т TiO₂; 50.6%), прибрежно-морские погребенные россыпи (17.8 млн т TiO₂; 3%).

В мире около 30% диоксида титана добывается из коренных месторождений, таких как Лак-Тио

в Канаде (содержание TiO₂ 32–38%), Теллнесс в Норвегии (содержание TiO₂ 16–20%) и Панчжихуа в Китае (содержание TiO₂ 10–12%) (Charlier et al., 2015). Содержание титана в рудах российских магматогенных месторождений 7.0–8.5%, что при наличии проблем с технологией обогащения и переработки делает их разработку нерентабельной.

Погребенные прибрежно-морские циркон-рутил-ильменитовые россыпи, как и во всем мире, наиболее привлекательны для освоения, так как они достаточно легко обогатимы, из них добывается около 70% мирового титана. Параметры основных циркон-рутил-ильменитовых россыпей России приведены в табл. 2.

Текущая годовая потребность российских предприятий в титановых концентратах (исходя из их мощностей) составляет около 365 тыс. т (Госдоклад ..., 2022). Сосредоточенного в россыпных месторождениях диоксида титана (17.8 млн т) достаточно для обеспечения текущих потребностей России на 50 лет.

Кроме того, источником сырья для производства пигментного диоксида титана для лакокрасочного производства, которое выдвигает определенные требования к качеству ильменита, могут служить титаноносные песчаники девонских отложений юго-восточного склона Воронежской антеклизы (Лаломов и др., 2023).

До недавнего времени до 95% потребностей России покрывались за счет импорта украинского титанового сырья, и только в последний год поставки диверсифицировались за счет Вьетнама, Мозамбика и Казахстана. Ввод в эксплуатацию в 2022 г. Туганского россыпного месторождения в Томской области снизил зависимость отечественной промышленности от импорта ти-



Фиг. 7. Продуктивный пласт Константиновского участка Бешпагирского месторождения.

танового сырья. К 2030 г. объем производства ильменитового концентрата на этом предприятии может закрыть 40% текущих потребностей, а рутилового – 80% (Госдоклад ..., 2022).

Динамика роста цены на пигментный диоксид – от 1.9 долл/кг в 2016 до 2.98 в 2022, на губчатый титан – от 7.1 до 12.1 долл/кг указывает на перспективность инвестиций в титановое сырье.

Среди месторождений нераспределенного фонда недр наиболее перспективными для освоения являются погребенные прибрежно-морские россыпи Ставропольского края: Бешпагирское месторождение, Константиновский и Камбулатский участки (фиг. 4). Их совокупные запасы, качественные показатели потенциальной продукции и инфраструктурная освоенность региона позволяют создать на их базе крупное горно-обогатительное производство. Наиболее изучено Бешпагирское месторождение, в рудных песках которого содержится в среднем $24.73 \text{ кг/м}^3 \text{ TiO}_2$ (фиг. 7). Получаемый из них ильменитовый концентрат (62.2% TiO_2) подходит для производства губчатого титана и пигментного диоксида титана. Цирконовый концентрат (64.5% ZrO_2) удовлетворяет требованиям существующего производства циркония, в том числе ядерной чистоты. Технико-экономические показатели отработки запасов открытым способом определены для 15-летнего расчетного периода со среднегодовым производством товарных концентратов: цирконового – 15 тыс. т, рутилового – 10 тыс. т, ильменитового – 28 тыс. т (Быховский и др., 2010). Освоение ме-

сторождения сдерживает его расположение на территории частного землевладения.

Ниобий, РЗМ. Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз редких металлов, которые включают в себя РЗМ, однако единственный промышленный источник ниобия и редкоземельной продукции в стране – лопаритовый концентрат, производимый из руд Ловозерского месторождения в Мурманской области. В результате вклад России в мировое производство РЗМ-сырья составляет порядка 1%. Ниобий – важнейший металл, пользующийся высоким спросом в России; высокий риск Nb-поставок связан с тем фактом, что более 90% его производства приходится на одну страну (Бразилию).

За исключением Ловозерского месторождения, локализованного в слоистом щелочном магматическом массиве, все месторождения, на которых в настоящее время ведется добыча ниобия, расположены в карбонатитах, и большинство потенциально-перспективных для освоения месторождений также залегают в этих породах.

Государственным балансом запасы ниобия учтены в 39 месторождениях, в распределенном фонде числится 9 месторождений, в 7 объектах ниобий – попутный компонент, который не извлекается (Быховский и др., 2016, 2017, 2019). Рынок ниобия определяется двумя сегментами: соединениями ниобия и металлургическим ниобием. ОАО «СМЗ» полностью покрывает потребности отечественной промышленности в соединениях ниобия, импорт соединений ниобия отсутствует,

а порядка 40% экспортируется. Мощности ОАО “СМЗ” позволяют производить до 855 т соединений ниобия в пересчете на пентаоксид. В 2018 г. объем производства соединений ниобия составил 668.7 т в пересчете на пентаоксид.

Основные области применения ниобия: в виде феррониобия – для производства жаропрочных сталей; в виде пентоксида ниобия – для производства твердых сплавов, монокристаллов ниобата лития, в виде металла – для производства электролитических конденсаторов, сверхпроводниковой техники, материалов, используемых в оптике и акустоэлектронике. Потребление феррониобия в России оценивается на уровне 6000 т. Структура производства феррониобия в производстве сталей оценивается следующим образом: нефте- и газопроводы – 60%, мостостроение – 15%, автомобилестроение – 8%, судостроение – 7%, электротехника – 5%, прочее – 5%. В разрезе мирового потребления феррониобия на конструкционную сталь приходится 46%, сталь для автомобилестроения – 23%, сталь для трубопроводов – 16%, нержавеющая сталь – 6%, иное – 9%.

В сегменте металлического Nb и его сплавов обратная ситуация. АО “Чепецкий механический завод” – единственный производитель ниобия и его сплавов. Предприятие производит порядка 40–50 т продукции для собственных нужд и в целях поставок предприятиям государственной корпорации по атомной энергии “Росатом”. В незначительных объемах Nb металлический производит АО “Химико-металлургическая компания”.

Для удовлетворения текущих годовых потребностей российской металлургии, по оценке Минпромторга, достаточно 3000–3500 т феррониобия. Свыше 95% феррониобия импортируется в РФ из Бразилии. Кроме того, в Россию импортируется металлический Nb в виде: прутков, проволоки, труб и чистого металла. Так, в 2018 г. объем импорта феррониобия (содержание Nb – 60%) составил порядка 4.1 тыс. т (Стратегия..., 2018).

Государственным балансом запасов полезных ископаемых учитываются запасы в количестве 26.9 млн т ΣTR_2O_3 (суммы окиси редких земель), что позволяет стране занимать второе место в мире, уступая только Китаю. Запасы (млн т): Китай – 55, Бразилия – 22, США – 18, Индия – 3.1, Австралия – 2.2. Однако доля России в мировом производстве редкоземельных металлов (РЗМ) составляет 2.4%, тогда как Китай – 83%, Австралия – 11.1%, Индия – 1.4%. Всего учтено 17 месторождений РЗМ, из них 10 – в распределенном фонде недр, в том числе одно техногенное.

Российская сырьевая база РЗМ базируется, в основном, на месторождениях апатит-нефелиновых и лопаритовых руд в недрах Мурманской области (Северо-Западный федеральный округ). Здесь в девяти апатит-нефелиновых месторожде-

ниях Хибинской группы учтено 10.7 млн т РЗМ, или почти 40% российских запасов. Месторождения разрабатываются на фосфатное сырье, при этом РЗМ, как попутный продукт, не извлекаются, при низком среднем содержании в рудах (0.24–0.42% ΣTR_2O_3). Применяемое для производства РЗМ лопаритовое и апатитовое сырье богаты РЗМ легкой группы (80–95%), но бедны РЗМ средней (0.1–5%) и тяжелой (0.01–0.1%) групп.

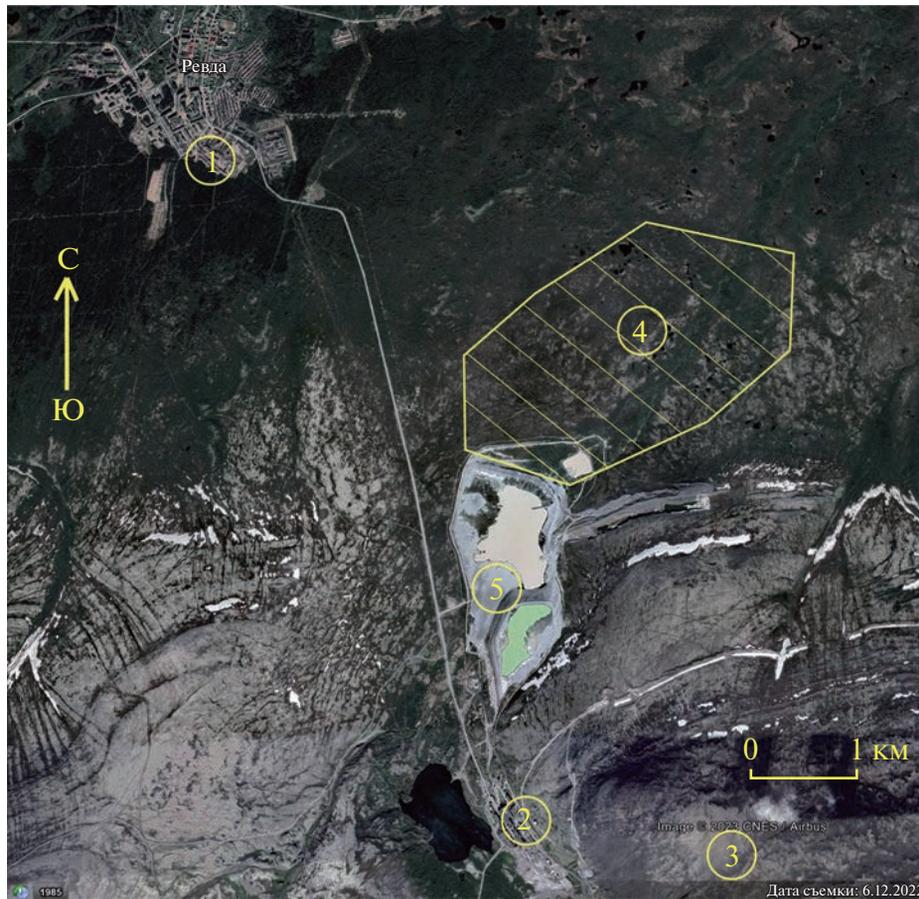
Наибольший интерес вызывают Ловозерское (лопарит), Томторское (монацит) и Хибинские (апатит) месторождения, существенно различающиеся по содержанию РЗМ в рудах. Кроме того, в нераспределенном фонде недр находится 6 месторождений, в том числе одно техногенное. Попутное извлечение РЗМ возможно из апатитовых руд Селигдарского месторождения (Якутия) и из апатит-ниобиевых руд Белозиминского месторождения (Иркутская область) (Госдоклад, 2022).

Следует отметить отсутствие технологий утилизации и вторичной переработки продукции, содержащей РЗМ, а также технологии возврата этого сырья в производство (Быховский и др., 2016, 2017, 2019). Планируется наладить извлечение РЗМ из отходов, вскрышных и вмещающих пород, продуктов переработки апатитового концентрата (фосфогипса, экстракционной фосфорной кислоты), богатых средней и тяжелой группой (Стратегия..., 2018).

Совокупный объем добычи РЗМ в России не превышает 2.5 тыс. т в год, что больше, чем в США (1.9 тыс. т), но меньше, чем в Австралии (2.6 тыс. т) или Китае (129.4 тыс. т.). При этом общий объем внутреннего потребления РЗМ в РФ в 2020 году составил 420 тонн, из которых 100 т пришлось на АО “Росэлектроника”, еще 300 т – на “Ростех”, до 20 т – на прочие крупные технологические корпорации, в том числе холдинг “Швабе”. Остальной объем добытых РЗМ отправлен на экспорт (Госдоклад ..., 2022).

Однако электронная промышленность России испытывает дефицит РЗМ, особенно на уровне продукции первого и второго переделов, что и обуславливает критичный уровень зависимости от импорта. В первую очередь из Китая, Тайваня, Малайзии и других стран АТР.

Отметим, что развитие зеленых технологий только за последние 15 лет увеличило спрос на РЗМ в мире в 10 раз. Таким образом, имеющиеся в России запасы не осваиваются по причине ограниченности внутреннего спроса, а спрос не увеличивается из-за отсутствия достаточного объема предложения готовой продукции, а эта продукция не создается из-за отставания России в области собственного производства элементной базы. В результате реальная добыча РЗМ в России ведется только на Ловозерском месторождении в Мурманской области.



Фиг. 8. Схема строения Северо-Ловозерского редкометального узла. 1 – поселок Ревда, 2 – обогатительная фабрика Карнасурт, 3 – коренное месторождение Карнасурт, 4 – Сергеваньская россыпь лопарита, 5 – хвостохранилище Карнасурт.

Перспективы импортозамещения по Nb и PЗЭ связаны со следующими месторождениями (включающими коры выветривания): Томторским (участок Буранный) в Республике Саха-Якутия (начало эксплуатации предполагается в 2028 г.) и Зашихинском в Иркутской области (начало эксплуатации в 2025 г.), а также с увеличением производства продукции Ловозерским ГОКом.

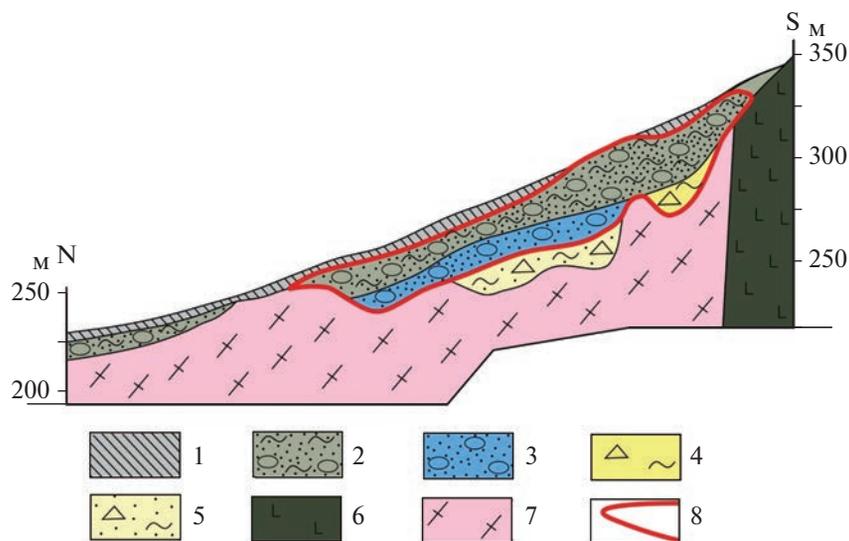
Актуальным выглядит увеличение в несколько раз производства Ловозерским ГОКом за счет вовлечения в переработку новых видов сырья (россыпного и техногенного). Следует отметить, что в последние годы на Ловозерском месторождении добыча ведется в сложных горно-геологических условиях при низкой рентабельности существующих разрезов, причем по мере выработки доступных ресурсов сложность горных работ и себестоимость продукции увеличивается.

Уникальные по своему составу и генезису, достаточно крупные по масштабу россыпи лопарита – главного источника Nb, Ta, PЗМ и Ti – расположены по периферии Ловозерского массива, а также хвосты обогащения фабрики Карнасурт

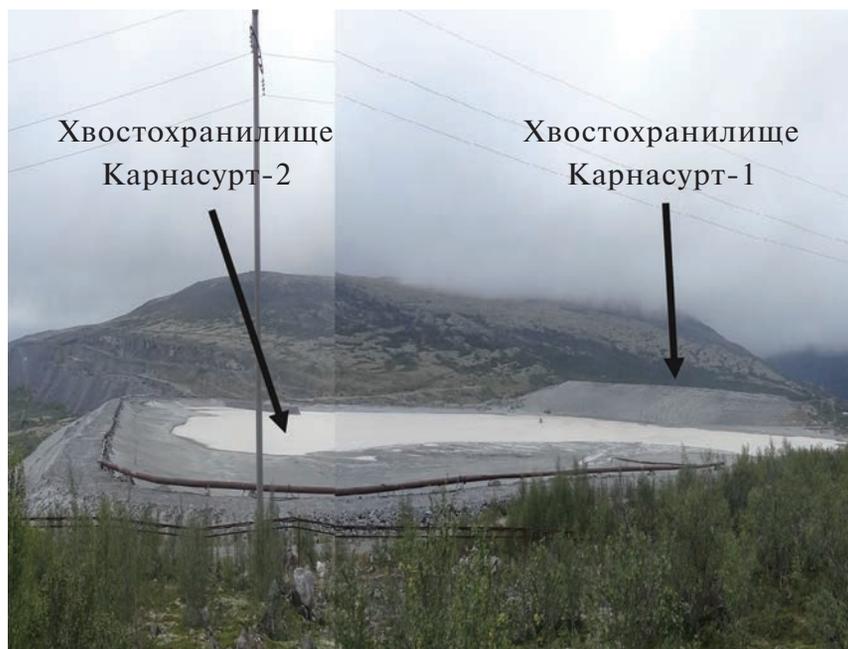
(фиг. 8), могут служить дополнительным источником сырья для объема производимой продукции Лавозерским ГОКом. При этом ассортимент получаемой продукции не требует изменения технологии металлургического передела и будет достигнуто частичное самообеспечение по СМС, критически зависимо от импорта.

Россыпи лопарита (фиг. 9.) приурочены, в основном, к гляциальным и флювио-гляциальным отложениям – производным местного горного оледенения (Лаломов и др., 2022). Наиболее изучена Ревдинская группа россыпей (Шомиокская, Ревдинская и Сергеваньская россыпи).

Среднее содержание лопарита в россыпях Ревдинской группы – 3.9 кг/м^3 . Вскрышные породы составляют 11.5 м при мощности пласта 20.7 м, что позволяет добывать россыпь открытым карьером. При производительности ГОКа в 2021 г. 2.6 тыс. т PЗМ, только одна, наиболее благоприятная для эксплуатации, Сергеваньская россыпь, расположенная в нескольких километрах от обогатительной фабрики, может обеспечить произ-



Фиг. 9. Обобщенный разрез рыхлых отложений северного склона и предгорий Ловозерского массива. 1 – морена покровного оледенения $gQ_{III^3-IV^1}$; 2 – морена горного оледенения с обломками местных щелочных пород gQ_{III^1-2} ; 3 – флювиогляциальные отложения горного оледенения fgQ_{III^1-2} ; 4 – склоновые отложения кайнозоя (неогена?) с обломками местных щелочных пород (dN (?)); 5 – элювиально-склоновые отложения мезозоя-кайнозоя (?), развитые по породам гранитогнейсового комплекса ($e-d$ MZ-N (?)); 6 – палеозойские щелочные породы (PZ); 7 – породы гранитогнейсового архейского комплекса (AR); 8 – россыпь лопарита.



Фиг. 10. Хвостохранилище обогатительной фабрики Карнасурт Ловозерского ГОКа (фото А.В. Лаломова).

водство лопаритового концентрата на уровне текущего объема в течение 68 лет.

Техногенные отложения сосредоточены в хвостохранилищах Карнасурт-1 и Карнасурт-2, где

складируются хвосты обогащения начиная с 1951 г (фиг. 10). По последним данным за 2021 г. (Госдоклад ..., 2022), содержание лопарита в хвостах составляет 8.4 кг/м^3 , $\Sigma PZM - 2.7 \text{ кг/м}^3$. По предва-

рительной оценке, запасы РЗМ в хвостохранилищах могут оцениваться в 75–80 тыс. т, лопарита – 230–250 тыс. т.

Таким образом, проблема с исходным обеспечением российских потребностей в РЗЭ может быть решена полностью, но потребуются достаточно масштабное развитие внутреннего спроса за счет расширения производства электронной элементной базы и создания новых предприятий, выпускающих высокотехнологичную продукцию, использующую РЗЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя изложенное выше, отметим, что по большинству позиций из всего утвержденного в 2022 г. Правительством РФ обновленного Перечня СМС проблемы зависимости от импорта не наблюдается. В то же время 17 необходимых для российской промышленности полезных ископаемых импортируются, причем 5 из них (Mn, Ti, Nb, Li, REE) критически зависят от импорта. Несмотря на это, многие отечественные комплексные месторождения импортозависимых СМС не разрабатываются.

Как показывает многолетний опыт СССР по вводу в строй и эксплуатацию россыпных месторождений золота и олова, а также рассмотренный выше пример Туганского ГОКа, быстрыми темпами самообеспечение по ряду импортозависимых видов СМС (Zr, Ti, Nb, Ta, REE, Li и др.) может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений, кор выветривания и техногенного сырья.

Выполненный в статье анализ (в плане импортозамещения) для первоочередного освоения позволяет рекомендовать следующие объекты: Nb, Ta, Ti, REE – лопаритовые россыпи Ревдинской группы и техногенные отложения в хвостохранилищах Ловозерского ГОКа (Кольский полуостров); Ti, Zr – Итмановский участок Лукояновского россыпного месторождения и Бешпагирское месторождение.

Следует отметить, что по ряду позиций Перечня, например, марганцу, хрому, литию и бокситам, существуют объективные причины импортозависимости. В настоящее время Россия не в состоянии перейти на полное самообеспечение по этим видам СМС. По ним самообеспечение может быть достигнуто в среднесрочной и долгосрочной перспективе лишь при разработке новых технологий, повышающих степень технологического передела минерального сырья низкорентабельных отечественных месторождений.

Отечественное производство критически зависит от использования готовых концентратов или полуфабрикатов, чаще всего производимых в недружественных России странах, оказавшихся

под мощным политическим и экономическим давлением коллективного Запада. Для исключения угрозы перекрытия каналов поставок СМС из этих стран в ближайшей перспективе необходим поиск новых поставщиков из дружественных стран БРИКС, Юго-Восточной Азии и Африки.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 13.1902.21.0018, соглашение 075-15-2020-802).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Тарасов Н.Н., Дистлер В.В., Лаломов А.В., Аристов В.В., Мурашов К.Ю., Чижова И.А., Чефранов Р.М.* Месторождения стратегических металлов Арктической зоны. Геология рудн. месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 479–500.
- Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Лаломов А.В., Аристов В.В., Мурашов К.Ю.* Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов России: состояние и перспективы развития // Геология рудн. месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119.
- Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Лаломов А.В., Мурашов К.Ю.* Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России // Геология рудн. месторождений. 2022. Т. 64. № 6. С. 617–633.
- Быховский Л.З., Васильев А.Т., Забирко А.Г.* О проекте освоения Бешпагирского комплексного россыпного редкометалло-титанового месторождения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2010. № 1. С. 68–75.
- Быховский Л.З., Потанин С.Д., Котельников Е.И.* О перспективах и очередности освоения минерально-сырьевого потенциала редкоземельного и скандиевого сырья России // Разведка и охрана недр. 2016. № 8. С. 3–8.
- Быховский Л.З., Потанин С.Д., Чеботарева О.С.* Минерально-сырьевая база редких металлов // Минеральные ресурсы России: Экономика и управление. 2017. № 4. С. 28–37.
- Быховский Л.З., Пикалова В.С., Лихникевич Е.Г.* Редкоземельное и скандиевое сырье: алгоритм освоения природных и техногенных источников // Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. М.: ВИМС, 2019. С. 24–34.
- Государственный доклад “О состоянии и использовании Минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году”. М.: ВИМС, 2022. 622 с.
- Кульбас А.А.* Отчет о результатах контрольного мероприятия “Оценка эффективности управления государственным фондом недр в 2018–2019 годах и истекшем периоде 2020 года в целях устойчивого обеспечения базовых отраслей экономики страны видами минерального сырья, ресурсы которых недостаточны и обеспечиваются в том числе за счет импорта” М.: Счетная палата Российской Федерации, 2021. 52 с.

- Лаломов А.В., Григорьева А.В., Зайцев В.А.* Минеральный состав редкометалльных россыпей Ловозерского массива // Геология рудн. месторождений. 2022. № 5. С. 485–497.
<https://doi.org/10.31857/S0016777022050069>
- Лаломов А.В., Григорьева А.В., Милаш А.В., Черешинский А.В.* Титаноносные туфопесчаники ястребовской свиты (верхний девон) юго-востока Воронежской антеклизы как возможная альтернатива ильменитового сырья Иршинского месторождения (Украина) // Горный журнал. 2023. № 2. С. 15–19.
- Мелентьев Г.Б.* Литиевый потенциал России // Редкие земли. 2016. Интернет ресурс <http://rareearth.ru/ru/pub/20160613/02898.html>.
- Отчет о прикладных научных исследованиях по теме № 2014-14-576-0118-002 “Разработка эффективной технологии комплексного освоения высокопараметрических минерализованных гидрогеотермальных ресурсов”. Махачкала: ИПГ ДНЦ РАН, 2014. 70 с.
- Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, утверждена Правительством Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р. 2018. 30 с. <http://static.government.ru/>
- Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2022 N 4260-р. 2022. 55 с. www.consultant.ru
- Coulomb, R., Dietz, S., Godunova, M., Nielsen, Th. B.* Critical minerals today and in 2030: an analysis of OECD countries // OECD Environment working papers. 2015. № 91. P. 1–49. www.oecd.org/environment/workingpapers.htm
- Charlier, B., Namur, O., Bolle, O., Latypov, R., Duchesne, J.-C.* Fe–Ti–V–P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks // Earth-Sci. Rev. 2015. V. 141. P. 56–81.
- Mineral Commodity Summaries 2021. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2022. 202 p.