

Выводы

1. Практически для всех редких элементов, кроме ниобия, наблюдается значительное снижение их потребления для производства стали и сплавов по сравнению с временами СССР (от 2 до 10 раз). Основная проблема производства лигатур с редкими металлами в России связана с их низким потреблением в черной металлургии из-за недостаточного развития производства инструментальных, нержавеющих, быстрорежущих, конструкционных сталей. Практически весь рынок металлорежущего инструмента занят зарубежными компаниями, в связи с чем потребление молибдена и вольфрама низкое.

2. Значительно возросло потребление ниобия в виде феррониобия, что связано с развитием производства труб большого диаметра. При этом поставки феррониобия практически полностью обеспечиваются иностранными компаниями.

3. Производство титана, циркония, ниобия не обеспечивается отечественной минерально-сырьевой базой. Наблюдается отсутствие эффективной кооперации переработчиков молибденового и вольфрамового сырья и производителей товарных продуктов на российском рынке.

4. Значительная часть вольфрамового концентрата, ферромolibдена и ферровольфрама экспортируются, при этом большой объем продукции, содержащей молибден и вольфрам, поступает по импорту.

5. Россия является одним из мировых лидеров по производству ванадия, однако в настоящее время производство ванадий-алюминиевой лигатуры, используемой для производства титановых сплавов в авиационной промышленности, практически полностью базируется на импортном пентаоксиде ванадия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-29-24074-мк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боярко, Г.Ю. Товарные потоки ферросплавов в России / Г.Ю. Боярко, В.Ю. Хатьков // Черные металлы. — 2018. — № 3. — С. 60–69.
2. Быховский, Л.З. Об определении понятия «редкие элементы» («редкие металлы»): исторический и терминологический аспекты / Л.З. Быховский, Л.П. Тигунов, А.В. Темнов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 3. — С. 32–38.
3. Волков, А.И. Влияние степени окисления и форм элементов в ванадиевом шлаке на технологичность его переработки / А.И. Волков, У.А. Кологриева, А.И. Ковалев, Д.Л. Вайнштейн // Металлург. — 2019. — № 8. — С. 42–46.
4. Волков, А.И. Выщелачивание продуктов обогащения титаномагнетитовых руд Медведевского месторождения / А.И. Волков, В.И. Короткова, А.И. Ушеров / Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004–2005 гг.: Сб. докл. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. — Т. 1. — С. 144–148.
5. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов России в 2018 году. — М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019 — 426 с.
6. Дейнеко, А. Развитие производства труб большого диаметра в России / А. Дейнеко / Производство, испытания и практическое использование труб большого диаметра категорий прочности Х80/Х90: Матер. междунар. конф. — М.: ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, 2012 г.
7. ИТС 24-2017 Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НТД. 2017 — 202 с.

8. Кологриева, У.А. Разработка технологической схемы утилизации отходов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия / У.А. Кологриева, А.И. Волков, А.С. Кириченко и др. // Металлург. — 2019. — № 4. — С. 78–82.
9. Корзун, В.К. Технично-экономическая оценка сырьевой базы редкоземельных металлов и технологии переработки руд и концентратов / В.К. Корзун, А.Н. Серегин, А.С. Кириченко // Цветная металлургия. — 2015. — № 4. — С. 21–28.
10. Левинский, Д.А. Государственному научному центру ЦНИИчермет им. И.П. Бардина исполнилось 75 лет / Д.А. Левинский // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2019. — № 2. — С. 101–104.
11. Свистунова, Т.В. Влияние скандия на структуру и свойства коррозионно-стойких сталей / Т.В. Свистунова, О.С. Бобкова, Б.Д. Белясов // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2008. — № 5 (635). — С. 9–14.
12. Серегин, А.Н. О проблеме развития рынка ванадийсодержащих сталей / А.Н. Серегин // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2010. — № 2. — С. 92–100.
13. Стулов, П.Е. Разработка технологии выплавки феррониобия и ниобийсодержащих сплавов из концентратов руд Большетагнинского месторождения / П.Е. Стулов, А.Н. Серегин, В.С. Пикалова // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2012. — № 4. — С. 5–11.
14. Хатьков, В.Ю. Современное состояние вольфрамовой промышленности России / В.Ю. Хатьков, Г.Ю. Боярко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2019. — Т. 330. — № 2. — С. 124–137.

© Волков А.И., 2020

Волков Антон Иванович // rhenium@list.ru

УДК 553.493.6:553.04(470)

**Быховский Л.З., Пикалова В.С., Лихникевич Е.Г.
(ФГБУ «ВИМС»)**

АЛГОРИТМ ОСВОЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РЕДКО-ЗЕМЕЛЬНОГО И СКАНДИЕВОГО СЫРЬЯ

*Россия занимает ведущее место в мире по запасам РЗМ и скандия, располагая различными источниками сырья, представленными природными и техногенными месторождениями, учтенными государственным балансом (20 месторождений РЗМ и 9 скандия); техногенными образованиями с неучтенными запасами (но значительными прогнозными ресурсами); а также существенными запасами монацитового концентрата в Госрезерве. Среди этих источников выделены реальные, потенциальные, перспективные и обоснованы предложения по последовательности их освоения. **Ключевые слова:** редкоземельные металлы, скандий, природные и техногенные источники, очередность освоения.*

Bykhovskiy L.Z., Pikalova V.S., Likhnikovich E.G. (VIMS)
THE SEQUENCE DEVELOPMENT OF RARE EARTHS
AND SCANDIUM RAW SOURCES

Russia occupies a leading position in terms of rare-earth metals and scandium reserves in the world. There are represented natural and anthropogenic deposits (20 deposits of rare-earth metals and 9 deposits of scandium consider in State Reserves

авторами «дорожных карт» во многом перекликаются. Нами предпринята попытка рассмотреть современное состояние всего спектра отечественных источников РЗМ, и в развитие ранее высказанных нами и другими авторами идей сформулировать обоснованные предложения по последовательности их освоения.

1. Природные месторождения

По балансовым запасам РЗМ (~33 млн т TR_2O_3 по состоянию на 01.01.2019) Россия занимает второе место в мире. Балансовые запасы скандия также весьма значительны — 13,4 тыс. т. Ощутимый прирост запасов редких земель и скандия осуществлен в 2018 г. в основном за счет завершения геологоразведочных работ разведочной и оценочной стадий и переоценки Чуктуконского и Томторского месторождений [9].

Госбалансом учтено 20 месторождений редких земель, в т.ч. одно техногенное и 9 месторождений скандия (рис. 1). Наряду с комплексными редкометалльными месторождениями, в рудах которых редкие земли и скандий являются одним из основных или сопутствующих полезных компонентов, запасы РЗМ учтены в апатит-нефелиновых рудах (9 хибинских месторождений), апатитовых рудах Селигдарского месторождения и в лейкоксен-кварцевых нефтеносных песчаниках (Ярегское месторождение). Скандий учтен только в двух редкометалльных месторождениях (Томторское и Чуктуконское), остальные его балансовые запасы связаны с бокситами, оловянными, урановыми и комплексными циркон-рутил-ильменитовыми рудами. Кроме того, прогнозные ресурсы скандия определены на месторождениях титаномагнетитовых руд (Собственно-Качканарское и Гусевогорское) и осадочных железных и силикатных никелевых руд (Серовское) в Свердловской области.

Доля комплексных редкометалльных месторождений, в рудах которых РЗМ являются одним из основных полезных компонентов в балансовых запасах

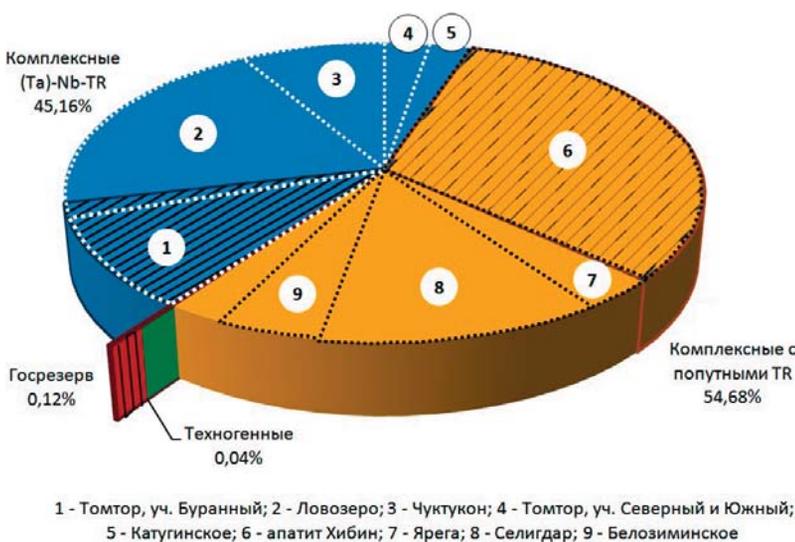


Рис. 2. Структура запасов (сумма кат. А+В+С₁+С₂) сырьевых источников редких земель. Заштрихованные сегменты — запасы в распределенном фонде недр

кат. В+С₁+С₂ России составляют 45 % (рис. 2). К ним относятся: Ловозерское (Nb, Ta, TR, Ti), Катугинское (Ta, Nb, TR, Zr), Чуктуконское (Nb, TR, Mn) и Томторское (Sc, TR, Nb) [3]. В последнем в качестве основного полезного компонента также рассматривается скандий (рис. 3).

Ловозерское титан-редкоземельно-ниобий-танталовое месторождение (Мурманская обл.) разрабатывается с 1951 г. Переработка, получаемых на нем лопаритовых концентратов, осуществляется АО «СМЗ» с получением карбонатов редких земель, пентоксидов тантала и ниобия, соединений титана и другой товарной продукции. Ловозерский ГОК работает на 1/3 проектной мощности с низкой экономической эффективностью. Производимые карбонаты РЗМ практически целиком отправляются на экспорт [5, 11]. Возможно увеличение мощности производства, в т.ч. за счет вовлечения в разработку эвдиалитовых руд участка Аллуйв, но для этого потребуются государственная поддержка предприятия (в виде льготных займов и других преференций).

Катугинское месторождение (Забайкальский край), до конца 2017 г. находившееся в распределенном фонде недр, детально разведано и подготовлено к освоению. На объекте выделены 2 промышленных типа руд — танталовые и иттриевые, в которых кроме тантала и редких земель подсчитаны запасы ниобия и циркония. Технология обогащения руд разработана в ВИМСе в 1970-х годах и проверена в опытно-промышленном масштабе с получением пирохлорового (Nb, Ta), цирконового (Zr) и гагаринит-иттрий-флюоритового (TR) концентратов, но требует усовершенствования. При гидрометаллургической переработке могут быть получены товарные продукты ниобия, тантала, РЗМ и др. [11]. Преимуществом объекта являются высокая доля иттриевой группы (~50 %) в РЗМ-концентрате и его приуроченность к осваиваемому горнопромышленному узлу региона, включающему Удоканское медное, Чинейское Ti-Fe-V и Pd-Cu, Апсатское угольное и другие месторождения. В настоящее время месторождение находится в нераспределенном фонде.

Рассмотрение комплексных Томторского (Республика Саха (Якутия)) и Чуктуконского (Красноярский край) месторождений в качестве первоочередных объектов освоения сомнительно. Их значимым недостатком являются технологические свойства руд, представляющие собой природный практически необогатимый черновой концентрат, который будет подвергаться дорогостоящей химико-металлургической переработке. И если извлечение РЗМ составляет более 80 %, то извлечение скандия — лишь около 50 % в бедные концентраты (от 0,11 до 6 % Sc_2O_3), требующие дальнейшей доводки для получения товарной продукции. При этом, требуются значительные инвестиции (например, общий

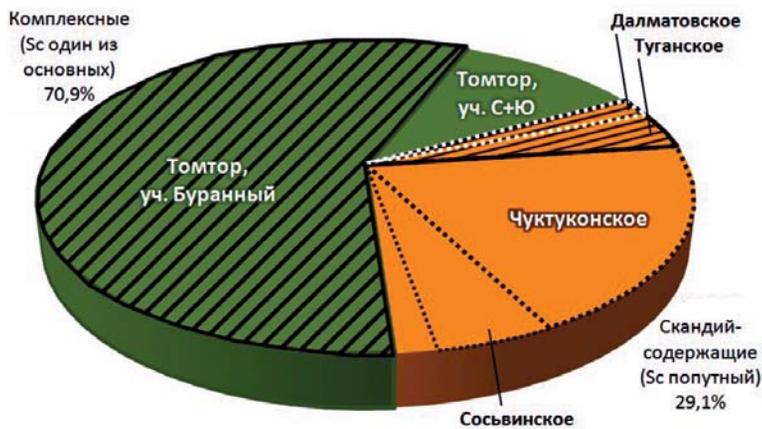


Рис. 3. Структура запасов (сумма кат. А+В+С₁+С₂) скандия. Заштрихованные сегменты — запасы в распределенном фонде недр

бюджет проекта по освоению Буранного участка Томторского месторождения составляет более 60 млрд руб.). Масштабное освоение этих месторождений может быть осуществлено только после проведения опытно-промышленной добычи и подтверждения технологии переработки руд с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью на основе полузаводских испытаний, а также проведения маркетинговых исследований для всего спектра возможной к получению товарной продукции [4]. Отметим также, что на Буранном участке запланированная на 2014–2017 гг. опытно-промышленная разработка, к сожалению, так и не была осуществлена, а прогнозируемые сроки начала эксплуатации объекта постоянно переносятся.

Первоочередным источником *попутного получения РЗМ* являются 8 хибинских нефелин-апатитовых месторождений (Мурманская обл.), *скандия* — растворы подземного выщелачивания пластово-инфильтрационных месторождений урана (Далматовское и др., Курганская обл.).

В советское время до середины 1980 г. РЗМ извлекались при переработке хибинских апатитовых концентратов на двух предприятиях Минсредмаша СССР, а также в ГДР, Польше и Норвегии (сейчас в Дании). После появления на рынке дешевого китайского редкоземельного сырья производство РЗМ было прекращено. Авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. привела к переоценке не только перспектив развития атомной энергетики в мире, но и потребовала увеличения производства первичной редкоземельной продукции в СССР. В 1988 г. была сформирована отраслевая программа увеличения производства РЗМ до 30 тыс. т в год к 1995 г. на базе трех сырьевых источников — хибинского апатита, костного детрита месторождения Меловое и попутного извлечения при добыче урана месторождений Средней Азии и Казахстана. В соответствии с программой в 1990 г. был построен и сдан Государственной комиссии первый объект (на одной из веток Кирово-Чепецкого химкомбината). Это производство функционировало почти 6 лет и произвело более 16,5 тыс. т TR_2O_3 . В связи с распадом СССР

не были построены: вторая очередь объекта в Кирово-Чепецке, производственные мощности по извлечению попутных РЗМ на химических заводах гражданской отрасли в городах Россось, Дорогобуж и Великий Новгород [10].

В последние годы в России ежегодно списывается с баланса более 100 тыс. т редких земель. Так, в 2018 г. из руд апатит-нефелиновых месторождений было добыто 121,8 тыс. т TR_2O_3 (98 % от добычи по России). В отдельный продукт редкоземельные металлы практически не извлекались. При реализации «Программы развития промышленности редких и редкоземельных металлов» были созданы опытные установки на 12 и 200 т РЗМ в год, но первая в настоящее время законсервирована, вторая в 2018 г. произвела 140 т оксидов редких металлов. Учитывая стабильный состав хибинского апатитового концентрата, содержащего около 1 % TR_2O_3 , наличие технологии и огромные объемы передела этого сырья, можно утверждать, что его комплексная переработка позволила бы не только покрыть практически любые потребности промышленности в редкоземельных металлах и стронции, но и обеспечить их значительный экспорт.

На Далматовском урановом месторождении, которое обрабатывается методом подземного выщелачивания в настоящее время работает опытная установка по попутной добыче скандия. Возможные объемы производства приведены в табл. 2.

Среди второстепенных источников редких земель внимания заслуживает такой комплексный редкометалльный объект, как Белозиминское месторождение (Иркутская обл.), скандия — титановые концентраты Туганского месторождения (Томская обл.).

Белозиминское фосфор-ниобиевое месторождение с попутными редкими землями и танталом представлено коренными рудами (карбонатитами) и развитыми по ним кораи выветривания (КВ). Руды КВ детально разведаны и могут быть отработаны открытым способом без применения буровзрывных работ, разработана технология получения ниобиевого и редкоземельного концентратов с их последующим переделом на товарную продукцию гидро- и пирометаллургическими методами (табл. 1). Кроме того, из руд месторождения, содержащих ~15 % P_2O_5 , может быть получен дефицитный в азиатской части России апатитовый концентрат, не уступающий по качеству хибинскому [18].

На Туганском циркон-титановом месторождении скандий утверджен в качестве попутного компонента. Он связан с цирконом, ильменитом, рутилом, лейкоксеном и каолином, т.е. при обогащении в целом переходит в рудные концентраты. Скандий может быть извлечен только при последующей переработке ильменитового концентрата (табл. 2), поскольку и рутил, и циркон в основном будут использоваться как индустриальные минералы (без металлургической переработки).

Таблица 1

Возможный выпуск редкоземельной продукции из различных источников

Объект	Содержание TR ₂ O ₃ , %		Запасы TR ₂ O ₃		Мощности по переработке руд/сырья, тыс. т/год	Возможный выпуск продукции в год	
	в руде/сырье	в концентрате	кат. В+С ₁ +С ₂ , тыс. т	доля от РФ, %		TR ₂ O ₃ , тыс. т	Прочие редкие металлы
Собственно редкометалльные комплексные месторождения							
Ловозерское	1,21	31	7180,8	21,7	500	3,3	70 т Ta ₂ O ₅ , 870 т Nb ₂ O ₅
Катугинское	0,37	15	791,8	2,4	600	1,4	62 т Ta ₂ O ₅ , 1150 т Nb ₂ O ₅ , 6900 т ZrO ₂
Чуктуконское	4,75		2862,3	8,6	100	4,0	720 т Nb ₂ O ₅ , 3 т Sc ₂ O ₃ в 0,11% концентрате
Томторское, уч. Буранный	10,59		3232,9	9,7	150	13,5	4520 т Nb в феррониобии, 34 т Sc ₂ O ₃ в 6% концентрате
Комплексные месторождения с попутными РЗМ							
Хибинские апатиты, всего	0,31	1,1	10473,8	31,6	8500	36,4	60 тыс. т SrO
– по сернокислотной схеме					7300	29,2	
– по азотнокислотной схеме					1200	7,2	
Белозиминское (КВ)	0,90	46	1645,9	5,0	3600	6,0	5200 т Nb в феррониобии
Зашихинское	0,07	2,2	44,4	0,1	1020	0,1	220 т Ta ₂ O ₅ , 2300 т Nb ₂ O ₅ , 3500 т ZrO ₂
Техногенные месторождения							
Кулариты	0,28	53	12,9	0,04	1073	2,3	—
Техногенные образования							
Фосфогипс	0,45	60	—	—	1000	2,0	—
Красные шламы	0,21	—	—	—	1500	0,6	36 т Sc ₂ O ₃ , 9 т Ga, 4200 т Ti-Zr концентрата
Государственный резерв							
Монацит	—	54	—	—	8	4,0	—
Итого						73,6	

2. Техногенные месторождения

На государственном балансе РФ учитываются запасы одного техногенного месторождения редкоземельных металлов — хвосты обогащения золотоносных россыпей Куларского района в Республике Саха (Якутия), состоящего из двух участков: Центральная Нижняя и Центральная Верхняя россыпи долины р. Урасаалах. Месторождение представляет собой эфельные отвалы отработки аллювиальной россыпи золота, которые эксплуатировались в 1982–1995 гг. Положительная особенность редкоземельного минерала куларита (разновидность монацита) — повышенное содержание европия и низкое — тория и урана. В 2014–2016 гг. на месторождении проведены геологоразведочные работы оценочной стадии. Разработана гравитационная схема обогащения песков с получением куларитового (редкоземельного) и золотосодержащего концентратов (табл. 1).

3. Государственный резерв

Реальными источниками РЗМ могут стать также монацитовые концентраты Госрезерва в количестве 82 тыс. т (~44 тыс. т TR₂O₃), хранящиеся в Красно-

уфимске Свердловской области, находящиеся в распределенном фонде недр. Их переработка позволит обеспечить прогнозные потребности России в редких землях на ближайшие 5 лет, а с учетом возможного увеличения производственной мощности Ловозерского ГОКа и на более длительную перспективу. Однако необходимость выделения из монацитовых концентратов тория, содержание которого составляет 4–5 % ThO₂ в отдельный продукт с поиском дальнейших путей его утилизации (продажи или захоронения) тормозит вовлечение данного сырья в переработку.

4. Техногенные образования

Наряду с комплексными природными месторождениями редких металлов в качестве источника получения редких земель и скандия можно рассматривать отходы добычи и переработки целого ряда других видов полезных ископаемых, в составе которых они присутствуют в виде попутных компонентов. Запасы техногенных образований разного происхождения, не учтенные (за редким исключением) государственным балансом полезных ископаемых, по масштабам соот-

ветствуют мелким, средним и даже крупным месторождениям и, безусловно, могут — при определенных условиях — представлять промышленный интерес. Среди наиболее перспективных техногенных образований для извлечения редких земель и скандия в настоящее время позиционируются:

- красные шламы — отходы глиноземного производства;
- стоки гидролизной кислоты завода «Крымский титан»;
- фосфогипс — отходы получения фосфорных удобрений из апатитовых руд сернокислотным методом;
- хвосты Качканарского ГОКа, обрабатывающего Гусевогорское титаномагнетитовое месторождение (Свердловская обл.).

При переработке бокситов на глинозем до 99 % редких металлов, в т.ч. РЗМ (с большой долей Y) и Sc, переходит в красные шламы (КШ), накопленные запасы которых представляют собой не только вторичный источник получения полезных компонентов, но серьезную экологическую проблему. Количество накопленных КШ в мире превышает 3 млрд т, а в России — 200 млн т. Возможность и экономическая целесообразность извлечения скандия и РЗМ из КШ обсуждались более полвека назад [6], но до сих пор не найдено оптимальное решение в промышленном масштабе в связи с необходимостью их комплексной переработки с максимальной утилизацией накопленных объемов отходов. Работы по опытной переработке части текущих КШ с получением скандия в последние годы ведутся на Уральском и Богословском алюминиевых заводах [14].

В шламонакопителе «Крымского титана» (Республика Крым) к настоящему времени накоплено не менее 300 т оксида скандия и ежегодно со стоками гидролизной кислоты его поступает около 15 т, а также диоксид титана, редкие земли, серебро и другие ценные компоненты. Предприятиями группы ЯВА

совместно с Уральским федеральным университетом предложена экономически эффективная технология переработки гидролизной кислоты, поступающей как с текущего производства, так и сконцентрированной в накопителе, с получением ликвидной товарной продукции [14]. Возможные объемы производства скандия — около 10 т в год.

Накопленное количество фосфогипса при перерабатывающих предприятиях колеблется от 10 до 80 млн т (суммарно в российских отвалах — не менее 200 млн т, ежегодно добавляется до 15 млн т). Специалистами ООО «ЛИТ» ГК «Скайград» разработана технология извлечения редких земель из фосфогипса (и другого фосфорного сырья) с последующим разделением на индивидуальные оксиды [1]. На основе данных разработок в Московской области (г. Королев) создана первая очередь экспериментального производства по разделению РЗМ мощностью 140 т/год (планируемая мощность производства — 1500 т/год).

Более 1 млрд т скандийсодержащих хвостов накоплено Качканарским ГОКом (прогнозные ресурсы скандия >100 тыс. т). Хвостохранилище занимает площадь более 40 га и ежегодно пополняется примерно 35 млн т свежих отходов. Но существующая в настоящее время технология получения скандия из данного вида сырья является затратной и требует совершенствования.

Основополагающим моментом процесса рентабельного использования всех перечисленных техногенных образований является разработка безотходной (или малоотходной) технологии, при которой редкие земли и скандий будут не единственными, а одними из основных или попутных полезных компонентов.

5. Потенциальные и перспективные месторождения (рудопроявления)

Среди объектов с незавершенной стадией геолого-разведочных работ в качестве наиболее перспективного источника редких земель можно выделить эвдиалитовые руды Хибин.

На участке Аллуайв, расположенном в пределах Ловозерского массива агапитовых нефелиновых сиенитов, проведена предварительная разведка. Руды могут быть эффективно обогащены методами магнитной и электрической сепарации; глубокая переработка эвдиалитового концентрата, содержащего 2,0–2,2 % РЗМ и характеризующегося низкой радиоактивностью, возможна кислотными методами. Уникальный спектр РЗМ (~40 % иттриевой группы) позволит полностью обеспечить внутренний спрос на иттрий, лютеций, дис-

Таблица 2
Возможный выпуск скандия из различных источников

Объект	Содержание Sc		Запасы скандия		Мощность по переработке руд/сырья, тыс. т (тыс. м³)/год	Возможный выпуск Sc*, т/год
	в руде/сырье, г/т (г/м³)	в концентрате, %	кат. В+С ₁ +С ₂ , тыс. т	доля от РФ, %		
Редкометалльные комплексные месторождения						
Томторское, уч. Буранный	245,8	3,91	7522,8	57,2	150	21,9
Чуктуковское	36,5	0,07	2207,0	16,8	100	1,9
Месторождения с попутным скандием						
Туганское	(4,6)	0,01	519,4	3,9	(3000)	3,8
Далматовское	6,3	–	226,6	1,7	-	1,3
Техногенные образования						
Красные шламы	80	2,3	–	–	1500	23,3
Пироксеновые хвосты	150	–	–	–	100	7,8
Итого						60,1

прозий, эрбий, самарий и гадолиний, а также ряд других редкоземельных элементов и наладить их экспорт. Существенное значение для оценки перспектив промышленного освоения эвдиалитовых руд имеет его близкое расположение к рудникам Умбозеро и Карнасурт Ловозерского ГОКа.

Для определения более точных перспектив Аллуайва и прочих объектов (перовскит-титаномагнетитовые руды Африканды, Кийское редкоземельное, цирконий-иттриево-земельное Сахарйок, металлоносные угли, проявления ионно-адсорбционных руд и др.) с апробированными прогнозными ресурсами требуется их доизучение и проведение современной геолого-экономической оценки.

Таким образом, минерально-сырьевая база России позволяет довести производство редкоземельных продуктов из реальных источников до 70–80 тыс. т TR_2O_3 , что составляет около половины их ежегодного мирового потребления (150 тыс. т). Возможные объемы производства скандия только из красных шламов (при переработке 1,5 млн т/год) сопоставимы с ежегодным мировым потреблением данного металла (25–35 т), а при суммировании продукции из всех рассмотренных отечественных источников скандия превышают его. Тем не менее, необходимо помнить, что все источники, в том числе техногенные, представлены комплексными рудами, и реализация всего спектра полученных товарных продуктов может быть затруднительна. Себестоимость получения (следовательно, и отпускная цена) редкоземельной и скандиевой продукции без реализации всей гаммы (или основной части) прочей продукции резко повысится, что приведет к снижению ее конкурентоспособности на мировом рынке, на который она большей частью будет ориентирована. В связи с этим требуется особое внимание уделять вопросам разработки (и совершенствования) рациональных и экономически эффективных технологий извлечения TR и Sc из различных видов сырья и мер государственной поддержки перерабатывающих предприятий, как это делается почти во всем мире — только совместные усилия государства и бизнеса могут принести положительные результаты.

Заключение

Первоочередными задачами для развития отечественного производства редких земель и скандия являются:

1) крайне необходимы точное определение текущих и перспективных потребностей в редких землях и скандии предприятий России (не только количественная, но и качественная оценка) и анализ возможности выхода на мировой рынок (особенно в части обоснования предельного уровня себестоимости получения товарной продукции);

2) увеличение мощности Ловозерского ГОКа по добыче и обогащению лопаритовых, а также вовлечение в обработку эвдиалитовых руд участка Аллуайв Ловозерского месторождения, и соответствующее увеличение перерабатывающей мощности Соликамского магниевого завода;

3) создание новых и (или) увеличение действующих мощностей для обеспечения выпуска индивидуальных РЗМ и конечной редкоземельной продукции (магнитов, катализаторов, сверхпроводников и пр.), а также производства товарной скандиевой продукции (оксида скандия и скандия металлического различной чистоты, Sc-содержащие лигатуры и т.п.);

4) организация промышленного производства редкоземельных концентратов на базе имеющихся опытных установок по переработке апатитовых концентратов Хибинских месторождений по азотнокислотной (Великий Новгород) и сернокислотной (Череповец) схемам переработки, а также организация производства по переработке фосфогипса не только ради извлечения РЗМ, но и для получения гипсовых вяжущих и строительных изделий с целью решения экологических проблем его хранения;

5) возможным источником РЗМ может стать красноуфимский монацитовый концентрат (Госрезерв) при решении проблемы реализации или захоронения ториевых продуктов. Кроме того, источником монацитового концентрата с низким содержанием тория может стать техногенное месторождение куларита (хвосты обогащения золотоносных россыпей Куларского района) в Республике Саха (Якутия);

6) увеличение производства попутного скандия при отработке Далматовского и других пластово-инфильтрационных месторождений урана и при металлургическом перделе ильменитовых концентратов Туганского месторождения (и импортных) на мощностях АВИСМА;

7) возобновление производства первичного скандия на заводе «Крымский титан» из «свежих» растворов, а в перспективе — из накопленной в шламохранилище сбросной гидролизной кислоты, являющейся отходом переработки ильменитовых концентратов;

8) производство скандия может быть многократно увеличено за счет комплексной переработки красных шламов на базе имеющихся опытно-промышленных площадок БАЗа и УАЗа. Кроме скандия возможно получение значительных объемов иттрия, лантаноидов средней и тяжелой группы, а также галлия, титана и циркония;

9) значительные перспективы увеличения производства скандия также связаны с возможной организацией его извлечения из пироксеновых хвостов Качканарского ГОКа;

10) необходимо предусмотреть в Стратегии развития промышленности редких и редкоземельных металлов в Российской Федерации на период до 2035 г. не только переработку техногенных отходов, но и получение РЗМ и скандия из вторичного сырья — отработанных аккумуляторных батарей, катализаторов и полирита; скрапа флуоресцентных ламп, компьютерных мониторов; лома легированных железных сплавов и т.п.;

11) планирование ГРП с целью доразведки и геолого-экономической переоценки наиболее перспективных месторождений и рудопроявлений — природных источников редкоземельного и скандиевого сырья.

Таким образом, Россия имеет все возможности выйти по производству скандия на 1 место в мире, а по редким землям уверенно занять 2 место после КНР.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов, А.М.* От разработки до освоения. Универсальная технология разделения РЗЭ на центробежных экстракторах / А.М. Абрамов, Ю.Б. Соболев, Ж.Н. Галиева, В.О. Геря и др. // Экстракция и мембранные методы в разделении веществ: Тезисы докладов междунар. конф. (РХТУ им. Д.И. Менделеева), 2018. — С. 11–12.
2. *Ануфриева, С.И.*, Природные и техногенные источники получения функциональных материалов на основе редких земель и скандия / С.И. Ануфриева, Л.З. Быховский, Е.Г. Лихникевич, Н.А. Пермякова // Тр. Кольского научного центра РАН, 2018. — Т. 9. — № 2–1. — С. 118–121.
3. *Архангельская, В.В.* Руды редкоземельных металлов России / В.В. Архангельская, Т.Ю. Усова, Н.И. Лагонский, Л.Б. Чистов // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. — М.: ВИМС, 2006. — № 19. — 72 с.
4. *Быховский, Л.З.* Задачи дальнейшего изучения Томторского рудного поля с целью повышения его инвестиционной привлекательности / Л.З. Быховский, Е.И. Котельников, Е.Г. Лихникевич, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 20–25.
5. *Быховский, Л.З.* Минерально-сырьевая база редких металлов Северо-Запада России — основа создания Центра редкометаллургии промышленности страны / Л.З. Быховский, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 1. — С. 3–7.
6. *Быховский, Л.З.* Экономическая целесообразность извлечения редких элементов из красных шламов / Л.З. Быховский, Б.С. Розов // Бюллетень ОНТИ ВИМС. — 1965. — № 2 (55). — С. 38–39.
7. *Гасанов, А.А.* Некоторые тенденции мирового рынка РЗМ и перспективы России / А.А. Гасанов, А.В. Наумов, О.В. Юрасова, И.М. Петров, Т.Е. Литвинова // Изв. высших учебных заведений. Цветная металлургия. — 2018. — № 4. — С. 31–44.
8. *Глущенко, Ю.Г.* РЗЭ — дорожная карта РФ / Ю.Г. Глущенко, А.В. Нечаев, Е.Г. Поляков // Актуальные вопросы получения и применения РЗМ — 2015: Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. — М.: ОАО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», 2015. — С. 23–26.
9. *Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 г.* Вып. 26. Редкоземельные металлы / Составитель Р.С. Монтин. — М.: ФГБУ «Росгеолфонд», 2019. — 86 с.
10. *Лопатко, С.В.* Фактор «Фукусимы» на рынке редкоземельных элементов / С.В. Лопатко, А.Б. Макеев // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 1. — С. 54–60.
11. *Машковцев, Г.А.* Перспективы рационального освоения комплексных ниобий-тантал-редкоземельных месторождений России / Г.А. Машковцев, Л.З. Быховский, А.А. Рогожин, А.В. Темнов // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 9–13.
12. *Мелентьев, Г.Б.* Перспективы развития промышленности редкоземельных металлов в России / Г.Б. Мелентьев, А.В. Тарасов // Цветная металлургия. — 2016. — № 1. — С. 54–61.
13. *Петров, И.М.* Перспективы и возможности использования вторичных ресурсов для производства редкоземельных металлов / И.М. Петров, С.А. Черный, А.И. Петрова // Экологический вестник России. — 2015. — № 12. — С. 38–42.
14. *Пробуждение российского скандия?* // Металлургический бюллетень. — 2018. — № 4–5 (192). — С. 76–81.
15. *Редкоземельное и скандиевое сырье России* / Л.З. Быховский, С.Д. Потанин, Е.И. Котельников, В.В. Архангельская, С.И. Ануфриева, Л.В. Игневская, Е.Г. Лихникевич, Л.В. Спорыхина. — М.: ВИМС, 2016. — 216 с.
16. *Самонов, А.Е.* Сырьевые приоритеты скорейшего возрождения и устойчивого развития редкоземельной промышленности в России / А.Е. Самонов // Цветные металлы. — 2012. — № 3. — С. 16–21.
17. *Темнов, А.В.* Государственное стимулирование добычи редких металлов / А.В. Темнов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2019. — № 5 (168). — С. 35–46.
18. *Темнов, А.В.* Сценарии реализации минерально-сырьевого потенциала комплексных редкометаллических месторождений Зиминского рудного района / А.В. Темнов, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 7. — С. 54–60.

18. *Толстов, А.В.* Новые возможности получения редкоземельных элементов из единого арктического сырьевого источника / А.В. Толстов, Н.П. Похиленко, Н.Ю. Самсонов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. — 2017. — Т. 10. — № 1. — С. 125–138.

© Быховский Л.З., Пикалова В.С., Лихникевич Е.Г., 2020

Быховский Лев Залманович // lev@vims-geo.ru
Пикалова Варвара Сергеевна // pikalova@vims-geo.ru
Лихникевич Елена Германовна // likhnikевич@mail.ru

УДК 553.44:553.061

Волков А.В., Галямов А.Л. (ИГЕМ РАН)

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ

*В статье рассмотрены результаты изучения методами ГИС-анализа соотношения металлогении с геодинамическими обстановками крупных месторождений стратегических металлов в Арктической зоне России (АЗР). Выявлено сходство геодинамических обстановок формирования невадийских и сакындинских месторождений золота Карлинского типа (МЗКТ), что подтверждает высокие перспективы открытия крупных месторождений в этом арктическом районе Якутии. Новые рудные районы с МЗКТ прогнозируются на всем протяжении Черско-Полоусненского покровно-складчатого пояса (Кольмской петли). Приведенные материалы показывают высокие перспективы открытия на Северо-Востоке России новой металлогенической провинции МЗКТ. **Ключевые слова:** Арктическая зона, крупные месторождения, стратегические металлы, Карлинский тип, прогноз.*

Volkov A.V., Galyamov A.L. (IGEM)

GEODYNAMIC SETTING OF LARGE DEPOSITS OF STRATEGIC METALS IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA

*The article considers the results of studying the correlation of metallogeny with geodynamic setting of large deposits of strategic metals in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF) by GIS-analysis methods. The similarity of geodynamic conditions of formation of Nevada and the Sakyndza area Carlin type gold deposits (CTGD) is revealed that confirms high prospects of opening the CTGD in this Arctic region of Yakutia. New ore districts with CTGD predicted throughout Chersko-Poluosninsky fold-thrust belts (Kolyma loop). The presented materials show high prospects for the discovery of a new metallogenic province of CTGD in the North-East of Russia. **Keywords:** Arctic zone, large deposits, strategic metals, Carlin type, forecast.*

Введение

Арктическая зона России (АЗР) полукольцом охватывает окраину Евразийского континента и многочисленные острова вокруг Северного Ледовитого