

# Техногенные и вторичные сырьевые источники редких металлов

<sup>1</sup>Темнов А.В., <sup>2</sup>Быховский Л.З.

<sup>1</sup> Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Москва

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н.М. Федоровского (ВИМС), Москва

Продemonстрировано значение техногенного и вторичного сырья в качестве источника редких металлов. Приведены примеры перспективных техногенных и вторичных источников редких металлов. Даны предложения по повышению роли этого сырья в производстве редких металлов.

**Ключевые слова:** редкие металлы; редкоземельные металлы; сырьевые источники; первичное сырье; техногенное сырье; вторичное сырье; отходы недропользования; государственное регулирование; законодательство.



**ТЕМНОВ Александр Викторович,**  
начальник отдела геологии полезных  
ископаемых Департамента государственной  
политики и регулирования в области  
геологии и недропользования,  
кандидат геолого-минералогических наук



**БЫХОВСКИЙ Лев Залманович,**  
главный научный сотрудник,  
доктор геолого-минералогических наук

Редкие металлы (Li, Be, Sc, REE, In, Ge, Zr, Nb, Ta, Re и др.) [1, 2] составляют основу наиболее передовых технологий и новых материалов, значительной части патентов, новых разработок и исследований гражданского и военного назначения.

Влияние редких металлов на мировую экономику, в том числе активно формирующийся "зеленый" сектор, научно-технический и оборонный потенциал государств определяется стремительно растущей совокупной стоимостью и долей промышленной продукции, полученной с использованием таких металлов и критически от них зависимой [3].

Повышенное внимание к редким металлам обострило вопрос наличия, разнообразия и доступности их сырьевых источников.

Предлагается различать следующие сырьевые источники редких металлов (рисунок):

## 1) первичные (первичное сырье):

природные собственно редкометалльные месторождения, в которых редкие металлы являются основными компонентами;

природные месторождения различных полезных ископаемых, где редкие металлы учтены в качестве попутных компонентов;

продукты переработки разнообразных полезных ископаемых (товарные руды и концентраты, промпродукты), содержащие попутные редкие металлы;

## 2) техногенные (техногенное сырье):

отходы, образуемые при пользовании недрами, – добыче, первичной переработке (обогащении) полезных ископаемых (отходы недропользования);

отходы, образуемые при металлургической, химической и энергетической переработке полезных ископаемых;

## 3) вторичные (вторичное сырье):

отходы производства и потребления промышленных и потребительских товаров, отработавших свой жизненный цикл.

Россия обладает одной из самых развитых на планете минерально-сырьевых баз редких металлов как по числу разведанных месторождений, так и по объему учтенных государством запасов. Преобладающая часть изученных редкометалльных месторождений характеризуется невысоким качеством, сложным вещественным составом руд, их комплексностью, труднообогатимостью, часто радиоактивностью и расположена, как правило, в неблагоприятных географо-экономических условиях. Разработка таких месторождений требует создания сложной, разветвленной промышленной инфраструктуры.

Для освоения рудных редкометалльных объектов необходимы значительные стартовые инвестиции при невысоких ожидаемых экономических показателях и существенном уровне

## Сырьевые источники редких металлов (элементов)



рыночных рисков, связанных с исторически сложившейся спецификой мировых рынков редких металлов (узкой специализированностью, закрытым характером взаимоотношений покупателей и продавцов, наукоемкостью, высокой конкурентностью в торговле), а также низким внутренним спросом в России.

Безубыточные экономические модели разработки российских собственно редкометалльных месторождений обеспечиваются только при строительстве крупных капиталоемких предприятий по добыче и переработке руд с расчетными мощностями по выпуску редкометалльной продукции, существенно превышающими потребности российского рынка.

Как результат – степень освоенности отечественной минерально-сырьевой базы редких металлов слабая. Разрабатываются с получением товарных редких металлов всего два собственно редкометалльных месторождения – Ловозерское (REE, Nb, Ta) и Павловское (Ge). Анонсировано начало разработки Туганского (Ti, Zr), Зашихинского (Nb, Ta, Zr, REE), Ермаковского (Be), Орловского (Ta), Томторского (Nb, REE, Sc) месторождений, имеющих различные, но в целом пока невысокие коммерческие перспективы.

Затягивание вовлечения в разработку предоставленных в пользование редкометалльных месторождений препятствует реализации первичного сырьевого потенциала нашей страны. Катугинское (Ta, Nb, Zr, REE), Вишняковское (Ta), Центральное (Ti, Zr – Восточный участок), Ермаковское (Be) мес-

торожения находились (до аннулирования лицензий) либо находятся в стадии подготовки к промышленному освоению более 20 лет.

Извлечение попутных редких металлов, присутствующих в рудах разрабатываемых месторождений прочих видов полезных ископаемых (апатит-нефелиновых, медно-никелевых, свинцово-цинковых, полиметаллических и др.), организовано лишь частично – на Ковдорском (Zr), Далматовском (Sc) и ряде других месторождений, где извлекаются рассеянные элементы (V, Ga, Cd, In, Se, Te). Основная причина невысокой эффективности использования попутных редких элементов – низкая мотивация недропользователей.

Уровень извлечения попутных редких металлов в товарную редкометалльную продукцию по тем проектам, где такое извлечение осуществляется, составляет всего 10-30 % [4].

Попутные редкие металлы, неизвлеченные в технологических операциях добычи и первичной переработки руды, в зависимости от принятой в проектной документации технологической схемы концентрируются в товарной руде (железные руды), концентратах обогащения или промежуточных технологических продуктах, не направленных на соответствующие технологические операции, а также в отходах.

В дальнейшем товарные руды и концентраты поступают на металлургический, химический или энергетический передел на российских предприятиях (либо поступают на экспорт – мед-

ные, вольфрамовые, оловянные, цинковые концентраты) [4]. Содержащиеся в экспортируемых товарных рудах и концентратах неизвлеченные редкие металлы в настоящее время не подлежат государственному учету, на них не распространяются действующие тарифы и сборы при экспорте сырья, и они не "работают" на национальную экономику.

Техногенные и вторичные ресурсы редких металлов при достигнутом прогрессе в разработке и освоении технологий переработки минеральных продуктов и промышленных отходов на фоне растущего глобального масштаба экологических проблем и ориентации государств на ресурсосбережение и ресурснезависимость являются оптимальным дополнением или даже альтернативой к природным сырьевым источникам.

В этой связи важнейшее значение приобретает повышение комплексности использования разрабатываемых месторождений самых разных полезных ископаемых за счет вовлечения в переработку текущих хвостов, шламов, зол, пылей и других продуктов обогащения и передела минерального сырья.

Техногенное и вторичное сырье все более становится одним из основных источников редких металлов в ведущих промышленно развитых странах, а где-то уже является традиционным источником для отдельных редких металлов. Обновленные стратегии ресурсного обеспечения экономик США, Евросоюза, Китая, Японии в обязательном порядке включают мероприятия по оценке потенциала, разработке технологий и извлечению критических для этих стран редких металлов из отходов горной промышленности, а также их рециклингу из вторичного сырья [5], что соответствует мировому принципу обращения с отходами 3R.

Так, инициатива по сырью Европейской комиссии ЕС/2008/699, План действий по экономике Евросоюза COM/2015/614 установили важность поставок критического сырья, к которому в значительной степени относятся редкие металлы, из отходов добычи полезных ископаемых и вторичных источников. Использование критического сырья из отходов пока не стало широко распространенной практикой в ЕС [6]. Однако уже реализованные проекты [7] продемонстрировали не только значительный потенциал техногенных и вторичных ресурсов в качестве источников редких металлов, но и высокоинновационный характер самой сферы их производства из таких источников. Основная проблема при этом – значительное потребление энергии на извлечение редких металлов, особенно при массовой доле менее 1 %, и высокое выделение углерода.

Большое значение в Евросоюзе придается рациональному использованию природного минерального сырья, главным образом закупаемого за рубежом (ресурсоэффективности).

Россия наряду с природными редкометалльными месторождениями обладает одним из крупнейших в мире потенциалом по-

путных, техногенных и вторичных источников редких металлов, прежде всего за счет исторически организованного государством изучения и учета таких металлов в качестве компонентов руд природных и техногенных месторождений и накопления значительных объемов отходов, содержащих редкие металлы, в период активного производства и использования последних<sup>1</sup>.

Неизвлеченные попутные редкие металлы присутствуют в разнообразных отходах и продуктах переработки руд железа, олова, вольфрама, титана, золота, фосфора, плавикового шпата, урана, каменного и бурого угля, нефти, в отходах производства цветных металлов – свинца, цинка, меди, алюминия, сжигания угля и нефтепродуктов (таблица).

Оцененные запасы и предполагаемые прогнозные ресурсы редких металлов в российских техногенных минеральных источниках по масштабам нередко соответствуют крупным и даже уникальным природным месторождениям [8-11]. В то же время сырьевой потенциал вторичного сырья на редкие металлы на сегодняшний день может быть оценен лишь весьма приближенно.

Техногенное сырье, в отличие от природного, всегда в той или иной степени подготовлено к использованию – извлечено из недр, дезинтегрировано, локализовано в промышленно обустроенных районах с развитой инфраструктурой.

Специфической особенностью редких металлов является их частое присутствие в рудах месторождений других видов полезных ископаемых в рассеянном виде, где они являются попутными компонентами III группы. Такие редкие металлы могут быть извлечены в основном технологическом процессе, при доводке, доочистке промежуточных продуктов, улавливании частиц и газов, при переработке отходов обогащения минерального сырья, в металлургическом, химическом, энергетическом переделах товарных минеральных продуктов. Содержание неизвлеченных попутных редких металлов в отходах недропользования нередко может превышать первоначальное их содержание в природном сырье. Так, содержание  $ZrO_2$  в рудах Ковдорского железо-фосфорного месторождения составляет 0,17%, хвостах обогащения – 0,22 %, содержание  $BeO$  в рудах и хвостах обогащения Пограничного флюоритового месторождения – 0,247 и 0,324 % соответственно,  $Li_2O$  в рудах и хвостах обогащения Вознесенского флюоритового месторождения – 0,45 и 0,67 %,  $Rb_2O$  – 0,26 и 0,39 соответственно [9].

Необходимость оценки и использования ресурсного потенциала техногенных отходов и вторичного сырья зафиксировано в целом ряде российских документов стратегического планирования.

Экологической доктриной<sup>2</sup> к одной из целей обеспечения устойчивого природопользования отнесены максимально пол-

<sup>1</sup> СССР традиционно занимал ведущие места в мире по использованию целого ряда редких металлов.

<sup>2</sup> Экологическая доктрина Российской Федерации, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 31.08.2002 № 1225-р.

Примеры техногенных минеральных образований, содержащих редкие элементы

Тип техногенных образований	Полезные компоненты руд (выделены редкие элементы)	Характеристика техногенных образований, содержащих минералы – концентраты редких элементов	Содержание полезных компонентов	Источники образования техногенных минеральных образований
<i>Отходы обогащения минерального сырья</i>				
Хвосты обогащения апатит–нефелиновых руд	Ti, REE, Nb, Ta, Rb, Cs, Ga, V	Хвосты флотации, содержащие нефелин, сфен, титаномангнетит, эгирин, полевой шпат	В сфеновом концентрате (%): Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,38; Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,026; TiO <sub>2</sub> – 28,3; REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,5–0,7. В нефелиновом концентрате (г/т): Ga – 20–110; Rb <sub>2</sub> O – 100–200; Cs <sub>2</sub> O – 5–10. В титаномангнетите (%): TiO <sub>2</sub> – 16–18; V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 0,16–0,47	Апатит–нефелиновые руды месторождений Хибинской группы (Мурманская область)
Хвосты обогащения бадделит–апатит–магнетитовых руд	Zr, P, Fe	Хвосты магнитной сепарации, содержащие бадделит, апатит, магнетит	В хвостах (%): ZrO <sub>2</sub> – 0,3; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – около 11	Апатит–магнетитовые руды Ковдорского месторождения (Мурманская область)
Хвосты обогащения титано–магнетитовых руд	Sc, Fe	Хвосты пироксенового состава (90 %) с примесью амфибола, оливина, титаномангнетита, ильменита	В пироксене: Sc – 0,01–0,02 %; Ga – 30 г/т	Титано–магнетитовые руды Гусеворского, Собственно–Качканарского месторождений (Свердловская область)
Хвосты обогащения танталовых руд редкометалльных гранитов	Li, Ta	Хвосты гравитационного обогащения кварц–полевощпатового состава с примесью лепидолита и мусковита	В хвостах (%): Li <sub>2</sub> O – 0,265; флотационный литиевый концентрат – 3,9	Редкометалльные руды Орловского месторождения (Забайкальский край)
Хвосты обогащения слюдиристо–флюоритовых руд	Флюорит, Be, Li, Rb, Cs	Отвалы флюоритовой флотации с литиевыми слюдами, фенакитом, хризобериллом	В хвостохранилищах (%): BeO – 0,13; Li <sub>2</sub> O – 0,67; Rb <sub>2</sub> O – 0,39; Cs <sub>2</sub> O – 0,02	Флюоритовые руды Вознесенского и Пограничного месторождений (Приморский край)
Хвосты обогащения россыпных месторождений золота	Au, REE	Отвалы песчанисто–глинистые, гравийно–песчаные	В хвостохранилищах: REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 5,4 кг/м <sup>3</sup> . В гравитационном концентрате: REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 39 %	Россыпи золота басс. р. Урасалаах (Республика Саха (Якутия))
<i>Отходы металлургического и химического производств</i>				
Отходы переработки апатитовых концентратов	P, REE, Sc	Отходы сернокислотной переработки апатитового концентрата (фосфогипс)	Фосфогипс (CaSO <sub>4</sub> * 2H <sub>2</sub> O) (%): REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,35–0,6; SrO – 1–2	Химические предприятия (Вологодская, Саратовская, Московская области и др.)
Отходы переработки бокситов	Al, REE, Sc, Ga, V	Красные шламы	Красные шламы: Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,01–0,02 %; REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – до 0,2–0,3 %; Ga – 40–50 г/т	Бокситогорский, Уральский и др. алюминиевых заводов (Свердловская область)
Отходы переработки вольфрамито–вых концентратов из грейзеновых месторождений	W, Ta, Nb, Sc	Кеки, оставшиеся после извлечения вольфрама из вольфрамитовых концентратов	В кеках (%): Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – до 0,1; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – до 0,3; Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,1–0,6	Месторождения Китая, Чехии
Отходы переработки ильменитовых концентратов	Ti, Sc, REE, Nb, Ta	Кислотонакопитель	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 50–80 г/т; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 100–650 г/т; REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 200–400 г/т	Крымский титан (Республика Крым), импортируемые концентраты (Украина и др.)
Отходы переработки касситеритовых концентратов из пегматитовых и грейзеновых месторождений и с ними связанных россыпей	Sn, Ta, Nb, Sc	Оловянные шлаки после извлечения олова из касситерита	В шлаках (%): Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 1–10; Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 1–2; Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – от 0,01 до 0,13	Россыпи Юго–Восточной Азии (Малайзия, Таиланд, Индонезия)
<i>Золотоотвалы и шлаки тепловых электростанций и отходы переработки нефти</i>				
Золы и шлаки, образовавшиеся при сжигании углей	Ge, REE, Sc	Золы и шлаки	В золах (%): Ge – до 500 г/т, REE <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,1–0,5 %, Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – до 0,01	Новомосковская и др. ТЭС
Отходы переработки нефти	V, Ni	Шламы ГРЭС, работающие на мазуте	В шламах (%): V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 10–12; NiO – 2–3	ГРЭС, работающие на мазуте



ное использование извлеченных полезных ископаемых и минимизация отходов при их добыче и переработке. Стратегией экологической безопасности<sup>3</sup> поставлена задача создания индустрии утилизации, в том числе повторного применения, отходов производства и потребления.

Повышение ресурсного потенциала, уровня извлечения ценных компонентов из отходов, поэтапное замещение невозобновляемых природных ресурсов при производстве различных видов продукции сырьем, полученным в процессе обработки и утилизации отходов, увеличение доли продукции, произведенной с применением вторичного сырья, снижение ее себестоимости отнесены к приоритетам Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов<sup>4</sup>.

Та же линия прослеживается и в Стратегии развития минерально-сырьевой базы<sup>5</sup>, где указывается на необходимость создания условий для освоения техногенных месторождений. При этом вовлечение в освоение отходов недропользования определено как одно из важнейших мероприятий по предотвращению негативного влияния на окружающую среду добывающих и перерабатывающих производств.

Развитие системы оценки и учета ресурсной ценности отходов производства и потребления, содержащих редкие и редкоземельные металлы, определено приоритетным направлением развития промышленности редких металлов в Стратегии развития обрабатывающей промышленности<sup>6</sup>.

При этом действующей редакцией государственной программы ВИПР<sup>7</sup> пока не предусмотрено выполнение отдельных мероприятий, нацеленных на использование ресурсного потенциала техногенных месторождений.

Законодательством РФ четкий правовой статус техногенных и вторичных источников полезных ископаемых и ценных компонентов до сих пор не определен.

В том числе по этой причине такие источники редких металлов не имеют необходимого целевого государственного учета в этом качестве.

В соответствии со ст. 4 Закона "Об отходах"<sup>8</sup> собственниками отходов являются предприятия, которые их образуют. При этом согласно ст. 22 Закона РФ "О недрах" пользователь

недр может лишь использовать отходы, образуемые при добыче полезных ископаемых, для собственных производственных нужд без права их отчуждать, что порождает коллизию соответствующих норм права, регулирующих отношения по использованию образующихся и накапливаемых отходов и содержащихся в них ценных компонентов.

Однако необходимо исходить из того, что собственность на полезные ископаемые и полезные компоненты, содержащиеся в отходах, образуемых при недропользовании, в контексте законодательства о недрах продолжает оставаться государственной, так как собственность по лицензии на пользование недрами устанавливается только на добытое полезное ископаемое. По этой причине редкие металлы, извлеченные из техногенных минеральных образований (месторождений), относятся к первичным металлам (см. рисунок).

Техногенные минеральные образования (отходы недропользования) согласно законодательству о недрах подлежат геологической разведке, запасы полезных ископаемых и полезных компонентов в них утверждаются государственной или территориальными комиссиями по запасам полезных ископаемых и учитываются Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ.

При рассмотрении материалов с подсчетом запасов государственной комиссией по запасам полезных ископаемых под техногенными месторождениями традиционно понимаются "скопления минеральных веществ, образовавшихся в результате складирования отходов добычи полезных ископаемых (некондиционные руды, вскрышные и вмещающие породы), обогатительного (хвосты, шламы), металлургического (шлаки, золы, кеки) и других производств, качество и количество которых позволяет осуществлять их добычу и переработку на рациональной экономической основе". Вместе с тем, в Государственном балансе запасов полезных ископаемых РФ запасы техногенных месторождений обособлены, будто это запасы "второго сорта", и не суммируются с запасами природных месторождений.

Так, в Государственном балансе запасов полезных ископаемых РФ "Редкоземельные металлы. Выпуск 26" по состоянию на 01.01.2021 учитываются 19 месторождений редкозе-

<sup>3</sup> Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Указом Президента РФ от 19.04.2017 № 176.

<sup>4</sup> Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р.

<sup>5</sup> Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р.

<sup>6</sup> Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 06.06.2020 № 1512-р.

<sup>7</sup> Государственная программа Российской Федерации "Воспроизводство и использование природных ресурсов", утвержденная постановлением Правительства РФ от 15.04.2014 № 322.

<sup>8</sup> Федеральный закон "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 № 89-ФЗ.

мельных металлов с балансовыми запасами категорий А+В+С<sub>1</sub> 19379,7 т, категории С<sub>2</sub> – 12397,6 тыс. т и отмечается, что балансовые запасы учитываются, кроме того, в двух техногенных месторождениях: Центральная Нижняя россыпь и Центральная Верхняя россыпь с запасами редкоземельных металлов категории С<sub>1</sub> – 11,4 тыс. т, категории С<sub>2</sub> – 1,5 тыс. т. Подобное разграничение отмечается и в других государственных балансах.

Техногенные сырьевые источники (минеральные образования) подразделяются на текущие, формирующиеся при нынешней добыче и переработке минерального сырья, и лежалые (прошлых лет), числящиеся на балансе предприятия как временно складированные для последующего пользования либо неучтенные.

Проблема использования техногенных образований тесно переплетается с проблемой комплексного использования месторождений (минерального сырья). Так, лежалые хвосты разрабатываются как техногенное сырье, а текущие хвосты – как комплексное сырье.

Например, при отработке в советский период редкометалльной Малышевской титано-циркониевой россыпи Верхне-Днепровским ГМК (Украина) производились рутиловый, ильменитовый, цирконовый, дистен-силлиманитовый, ставролитовый концентраты, из хвостов обогащения получались формовочные кварцевые пески (с выходом 85 %), высокосортные стекольные пески. Комбинат являлся одним из лидеров по комплексному использованию минерального сырья [13].

Апатитовые концентраты Хибинской группы месторождений, содержащие около 1 % REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, перерабатывают по двум схемам: серно-кислотной (сульфатной) – около 85 % объема и азотно-кислотной – около 15 %. При сульфатной переработке редкие земли частично переходят (около 50 %) в экстракционную фосфорную кислоту (промежуточный продукт для получения фосфорных удобрений), откуда они могут быть извлечены<sup>9</sup>, и частично в фосфогипс, относящийся к отходам производства, где их содержание составляет 0,4-0,6 % REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При азотно-кислотной переработке апатитового концентрата редкие земли частично переходят в аммофос и другие виды минеральных удобрений.

Вторичные материальные ресурсы – отходы, которые образуются при производстве и потреблении промышленной продукции и могут быть в дальнейшем применены для изготовления новой продукции. Иными словами – сырье, используемое повторно.

Понятие вторичных сырьевых источников (вторичного сырья) должно быть четко обособлено от понятия техногенных сырьевых источников, что подтверждается и зарубежной практикой и позицией ряда российских ученых [14]. При этом данный во-

прос несомненно требует всестороннего обсуждения с правовой, научной, прикладной точек зрения.

К сожалению, Национальным стандартом<sup>10</sup>, определяющим основные понятия вторичного сырья, не дано четкого разграничения техногенного минерального и вторичного сырья.

Чаще всего под вторичными материальными ресурсами понимается лом черных и цветных металлов, образующийся после выхода из строя соответствующего оборудования. Однако это могут быть материалы и изделия из самых разнообразных видов отходов, в том числе бытовой техники: гаджетов, холодильников, телевизоров, стиральных и посудомоечных машин, автомобилей, аккумуляторов, других источников питания и т.д.

Утилизация вторичных материальных ресурсов позволяет экономить первичное минеральное сырье, иногда до 70-90 % его объема, добиваясь значительного экономического эффекта за счет стоимости вторичного сырья, которая обычно в 1,5-2 раза ниже по сравнению со стоимостью первичного минерального сырья, а также снижения техногенного воздействия на окружающую среду [15].

При этом сбор и переработка вторичного сырья – задача по-своему сложная, решение которой требует создания разветвленной системы промышленных предприятий и логистических центров.

Необходимо отметить, что для ряда стран такое сырье – единственный источник снижения дефицита в тех или иных металлах.

Вторичное сырье может быть представлено самыми разнообразными отходами.

Вторичным сырьем рения являются отходы производства металлического рения, лома жаропрочных и специальных вольфрам-, молибден- и никель-рениевых сплавов, алюминий-платино-рениевых отработанных катализаторов нефтегазовой промышленности (в России рений производится только из вторичного сырья); вторичное сырье ванадия – отработанные катализаторы серно-кислотного производства (9,2 %), зольные остатки ГРЭС, использующих жидкое топливо (мазут) (до 30 %); вторичное сырье кадмия – отработанные никель-кадмиевые батареи (около 20 %) и т.д.

Вторичное сырье имеет особенное значение при получении рассеянных элементов. В начале 2000-х гг. в мире из него извлекалось до 20 % кадмия, 35 % германия, порядка 50-60 % галлия и индия, существенное количество рения [12, 16].

Инвестирование в переработку техногенных сырьевых источников, содержащих редкие металлы, может представлять практический интерес вследствие следующих причин:

- возможность в кратчайший срок провести геолого-экономическую оценку таких отходов (отходов недропользования), утвердить запасы и начать их переработку,

<sup>9</sup> На Чепецком заводе создана опытно-промышленная установка мощностью до 12 т/год REE<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

<sup>10</sup> Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 54098-2010.

- имеющиеся наработки (патенты) по переработке отходов для извлечения редких металлов позволяют в сравнительно короткие сроки разработать промышленные технологии извлечения полезных компонентов,
- снижение себестоимости получения сырья по сравнению с себестоимостью сырья из природных источников, так как отсутствует необходимость их извлечения из недр, дробления и истирания руд, они находятся на дневной поверхности, их размещение обычно создает экологические проблемы и требует затрат на обеспечение хранения;
- постоянный рост платежей за хранение отходов.

Возможность извлечения металлов из отходов способствует сбережению первичных ресурсов (природных месторождений) для будущих поколений, сохранению природных ландшафтов.

Вместе с тем следует отметить ряд проблемных моментов, сдерживающих освоение техногенных образований:

1. Целесообразность, а часто необходимость утилизации всей массы отходов либо их значительной части, что необходимо для решения ключевой экологической задачи – уменьшения площади земель, занимаемой для хранения отходов.

2. Извлечение отдельных элементов (не только редких, но и золота, платиноидов и др.) может быть достаточно рентабельным. Например, извлечение Sc, V, REE из красных шламов или золота из хвостов обогащения железистых кварцитов (Михайловское месторождение и др.), REE и золота из хвостов обогащения золотоносных россыпей и т.д. Но при этом из накопленных отходов будет извлекаться лишь менее 1 % массы их объема (содержание Sc около 100 г/т, REE – до 3-5 %, Au – 1-2 г/т). Соответственно объем отходов практически не изменится, а их переработка, перемещение, складирование и другое воздействие на окружающую среду создает ряд экологических проблем и требует значительных затрат на их решение.

3. Радиоактивность руд большинства отечественных редкометалльных месторождений, а также высокая токсичность некоторых редких элементов (Be, Cd, Tl), при переработке руд которых формируются экологически опасные отходы.

4. Необходимость расширения задач маркетинговой службы предприятия для реализации всей выпускаемой товарной продукции, так как ее часть может не полностью соответствовать действующим стандартам и требованиям предприятий-потребителей на продукцию, либо не выдерживать транспортировки на большие расстояния до потребителей (формовочные пески, каолин и т.д.).

При всем при этом значение техногенного и вторичного сырья как источника получения редких элементов, а также цветных и черных металлов, будет возрастать, а их спектр расширяться [5, 9, 10, 15, 17].

С целью повышения значения отходов добычи и первичной переработки полезных ископаемых в качестве источников полезных ископаемых и полезных компонентов, в том числе ред-

ких металлов, Минприроды России разработан законопроект "О внесении изменений в Закон РФ "О недрах" и отдельные законодательные акты РФ в целях стимулирования использования отходов недропользования", принятый Государственной Думой в первом чтении.

Законопроектом, в частности, предусматривается установить:

- обязанность пользователей недр представлять сведения о составе отходов недропользования как потенциальных источников минерального сырья для ведения кадастра таких отходов в системе государственного управления фондом недр; обеспечивать сохранность отходов недропользования как потенциальных источников минерального сырья путем заблаговременного планирования формирования из таких отходов техногенных месторождений для их разработки в будущем;
- меры, стимулирующие сырьевое использование таких отходов.

Кроме того Минприроды России ведется подготовка законопроекта, направленного на регулирование отношений, связанных с использованием вторичных материальных ресурсов.

Вторичные материальные ресурсы и вторичное сырье являются объектами гражданско-правовых отношений и в этом смысле разграничиваются с техногенными объектами (отходами недропользования), добыча (извлечение) полезных ископаемых из которых регулируется законодательством о недрах.

Для повышения роли техногенного и вторичного сырья в производстве редких металлов предлагается:

- организовать взаимосвязанную систему учета редких металлов в отходах недропользования, продуктах переработки минерального сырья, вторичном сырье;
- разработать основы методики учета различных видов вторичного сырья, содержащего редкие металлы;
- провести комплексную инвентаризацию накопленных и ежегодно формируемых отходов недропользования, выполнить анализ возможности применения новых технологий их переработки, в том числе для извлечения редких металлов, активизировать вовлечение таких отходов в качестве источников сырья;
- при ведении государственного учета запасов полезных ископаемых запасы природных месторождений суммировать с запасами техногенных месторождений;
- организовать раздельный сбор вторичного сырья редких металлов;
- при разработке программ развития редкометаллической промышленности, воспроизводства и использования минеральных ресурсов в полной мере учитывать источники техногенного и вторичного сырья, а где-то и отдавать им приоритет.



## Л и т е р а т у р а

1. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Темнов А.В. Об определении понятия "редкие элементы" ("редкие металлы"): исторический и терминологический аспекты // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2015. – № 3. – С. 32-38.
2. Темнов А.В. Государственное стимулирование добычи редких металлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2019. – № 5. – С. 35-46.
3. Абрахам Д. Элементы силы. Гаджеты, оружие и борьба за устойчивое будущее в век редких металлов: пер. с англ. – М.: Изд-во Института Гайдара, 2019. – 336 с.
4. Юшина Т.И., Петров И.М., Черный С.А. Об экспорте концентратов обогащения и необходимости их глубокой переработки в России // Обогащение руд. – 2018. – № 6.
5. Темнов А.В., Азарнова Л.А. Роль редких металлов в ресурсном обеспечении стратегическими и критическими видами минерального сырья ведущих зарубежных стран // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2016. – № 1-2. – С. 100-106.
6. Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills / Blengini G.A., Mathieux F., Mancini L. – European Commission. – 2019.
7. Rodríguez O., Alguacil F.J., Baquero E.E., García-Díaz I., Fernández P., Sotillo B. and López, F.A. Recovery of niobium and tantalum by solvent extraction from Sn-Ta-Nb mining tailings. RSC Adv., 2020, 10, 21406-21412.
8. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы / Под ред. Б.К. Михайлова. – М.: Научный мир, 2012. – 236 с.
9. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В., Ануфриева С.И. Техногенные месторождения и образования редких металлов России // Рациональное использование и охрана недр. – 2014. – № 3. – С. 14-22.
10. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий: монография / Коллектив авторов; под науч. ред. Ф.Д. Ларичкина, В.А. Кныша. – Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 252 с.
11. Киперман Ю.А., Комаров М.А. Горно-промышленные отходы в формировании ресурсосберегающей природоохранной политики // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2016. – № 1-2. – С. 68-73.
12. Спорыхина Л.В., Быховский Л.З., Чернова А.Д. Сырьевая база рассеянных элементов России: состояние и использование // Минеральные ресурсы. Экономика и управление. – 2020. – № 2. – С. 23-34.
13. Комплексная геолого-экономическая оценка рудных месторождений / А.М. Быбочкин, Л.З. Быховский, Ю.Ю. Воробьев [и др.] – М.: Недра, 1990.
14. Федорчук В.П. Вторичное минеральное сырье / Российская геологическая энциклопедия. В 3-х томах. Т. 1 (А-И). – М., СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – С. 223.
15. Августинчик И.А. Освоение вторичного сырья металлов: мировые тенденции, роль и место России // Руды и металлы. – 2006. – № 1.
16. Поликашина Н.С., Торикова М.В. Причины возникновения и пути устранения дефицита редких металлов в России // Рациональное освоение недр. – 2019. – № 5. – С. 26-43.
17. Черный С.А. Вторичные минеральные ресурсы редкоземельных металлов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24. – № 9. – С. 44-50.

## Rare metals from mining wastes and secondary raw materials

<sup>1</sup>Temnov A.V., <sup>2</sup>Bykhovskiy L.Z.

<sup>1</sup> Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

The role of waste and mining waste as a source of rare metals are shown. The case studies of rare metals production from such sources are discussed. Some suggestions to increase using of the waste and mining waste in rare metals production are given.

**Key words:** rare metals; raw materials sources; primary raw materials; waste; mining waste; state regulation; legislation.

Темнов Александр Викторович, atemniov@mnr.gov.ru

Быховский Лев Залманович, lev@vims-geo.ru

© Темнов А.В., Быховский Л.В.,

Минеральные ресурсы России. Экономика и управление № 1-6'2021

