

Тарханов А.В., Бугриева Е.П. (АО «ВНИИХТ»)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

*Рассматриваются проблемы хранения и переработки различных типов техногенных отходов. Даются краткая характеристика каждого типа и практические рекомендации по переработке и утилизации. Делается вывод о нецелесообразности переработки всего объема накопленных за многие годы отходов. Единственным способом утилизации отходов является их рекультивация, которая невозможна без участия государства. **Ключевые слова:** техногенные отходы, фосфогипс, пиритные огарки, красные шламы, отвалы, хвосты обогащения.*

Tarkhanov A.V., Bugrieva E.P. (VNIKHNT)

CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF STORAGE AND PROCESSING OF TECHNOGENIC WASTE

*The problems of various types of industrial waste storage and processing are discussed in the article. Brief characteristics of each type of waste and practical recommendations for its processing and disposal are given. The authors come to the conclusion of inexpediency of the total waste volume accumulated for many years processing. The only way of the waste recycling is their reclamation but it is impossible without State participation. **Keywords:** industrial waste, phosphogypsum, pyrite cinders, red sludges, dumps, tail of enrichment.*

О техногенных отходах и месторождениях написано в последнее время не меньше, чем о природных объектах. При этом упор делается не на ликвидацию опасных источников заражения окружающей среды, а как на кладовую редких, благородных и цветных металлов.

В марте 2016 г. состоялось совместное заседание Комитета Государственной думы Российской Федерации по природным ресурсам, природопользованию и экологии, и Высшего горного совета НП «Горнопромышленники России». Заседание прошло под лозунгом — «Отходы горного производства являются уникальным источником многих цветных металлов», их эксплуатация во многих случаях предпочтительней отработки природных месторождений и может решить задачу воспроизводства минерально-сырьевой базы [3]. Академик РАН Л.И. Леонтьев, всю жизнь занимающийся проблемой техногенных отходов, прямо указывает, что отходы, содержащие редкоземельные металлы (РЗМ) (имеются в виду в первую очередь отвалы фосфогипса), надо начинать использовать раньше, чем приступать к разработке новых месторождений, например, Томторского месторождения в Якутии [6].

В 2015–2016 гг. АО «ВНИИХТ» проводил разработку методических основ технологического опробования техногенных месторождений, содержащих редкие ме-

таллы, в рамках Государственного контракта ФГБУ «ВИМС» «Разработать методическое и метрологическое обеспечение проведения ГРР на комплексные радиоактивные руды редких и редкоземельных металлов в части химико-аналитических, минералогических и радиоизотопных исследований» [2].

При разработке этой темы пришлось детально ознакомиться со многими наиболее крупными техногенными объектами, в результате чего сложилось мнение, в корне отличающееся от общепризнанного. Отвалы техногенных отходов, накопившиеся в огромном количестве, не только не являются доходными, высокоценными источниками редких металлов и других полезных компонентов, а, напротив, представляют собой вредные для окружающей среды объекты, занимающие огромные полезные площади. Их ликвидация или хотя бы сокращение неблагоприятных последствий хранения требуют больших, неподъемных в данных условиях, затрат и обязательного участия государства.

В АО «ВНИИХТ» за 40 лет проведены многочисленные исследования по извлечению полезных компонентов из всех распространенных типов техногенных отходов (таблица), что позволяет оценить возможность их реального использования. Остановимся на краткой характеристике самых крупных объектов.

1. Отвалы вскрышных и вмещающих пород, некондиционные руды

Этот тип техногенных отходов изучался на примере Завитинского литий-бериллиевого месторождения в Забайкалье. Месторождение разрабатывалось карьером с 1941 по 1997 г. За это время накопилось огромное количество вскрышных рыхлых пород, гранитоидов и гнейсов, вмещающих сподуменовые пегматитовые жилы. Беспорядочные валы и кучи пустых пород располагаются по периферии карьера. Лишь небольшая незначительная их часть использовалась в качестве строительного материала. Отвалы забалансовых руд занимают площадь 4,5 км², мощность отвалов достигает 200 м, масса — 1,8 млн т (рис. 1). Содержание Li₂O в забалансовой руде — 0,3 % (в кондиционной руде — 0,7 %). При прямой флотации забалансовых руд не



Рис. 1. Отвалы забалансовых руд Завитинского месторождения

Типы техногенных отходов

№ п/п	Отрасль промышленности	Стадия производства	Тип техногенных отходов	Размеры	РМ
1	Горно-добывающая	Добыча полезных ископаемых	Отвалы вскрышных и вмещающих пород, некондиционных руд	Млрд т	Li, Be, Nb, Ta
2		Обогащение	Насыпные отвалы хвостов СМС, РС, ФМС, РЛС и др.	Сотни млн т	Zr, РЗМ, Nb, Ta
3			Шламохранилища хвостов ММС железных руд	Десятки км ²	Sc, U, РЗМ
4			Шламохранилища хвостов флотации апатита и флюорита	Десятки км ²	P ₂ O ₅ , Ti, РЗМ
5	Химическая	Производство удобрений	Отвалы фосфогипса	250 млн т	РЗМ, Sr
6		Производство глинозема	Шламохранилища Красных шламов	Десятки км ²	Sc, Ga, Y
7		Производство H ₂ SO ₄	Отвалы пиритных огарков	4–10 млн т	Au, Ag
8	Металлургическая	Выплавка черных и цветных металлов	Отвалы шлаков и золы уносов	Млн т	Re, Cd, In, Au, As
9	Электро-энергетическая	Сжигание твердого топлива	Отвалы и шламохранилища золы и шлаков	Млрд т	Ge, Ga, Sc, РЗМ

Примечание: РМ — редкие металлы, РЗМ — редкоземельные металлы, СМС — сухая магнитная сепарация, ММС — мокрая магнитная сепарация, РС — радиометрическая сепарация, ФМС — фотометрическая сепарация, РЛС — рентгенолюминесцентная сепарация

удаётся получить кондиционный концентрат для дальнейшей переработки, поэтому для вовлечения их в эксплуатацию требуется предварительное обогащение. В АО «ВНИИХТ» разработана комплексная технология, включающая фотометрическую сепарацию для удаления из руды темных вмещающих сланцев (рудные сподуменовые пегматиты белые и светло-серые) и рентгенолюминесцентную сепарацию, направленную на увеличение в концентрате содержания сподумена [5]. Этими способами содержание Li₂O в концентрате удалось повысить до 0,56 %, что позволило направить его на флотацию вместе с кондиционной рудой. При переработке отвалов забалансовых руд Завитинского месторождения можно получить 4000 т Li₂O.

Государственным балансом РФ учтены запасы 15 месторождений лития, но разрабатывалось раньше единственное Завитинское месторождение. Сейчас потребности в литии, составляющие 4600–5200 т оксида, полностью покрываются импортом. Завитинское месторождение эксплуатировалось Забайкальским ГОКом, на территории которого располагается Этыкинское тантал-ниобиевое месторождение с участком литиевых грейзенов. В АО «ВНИИХТ» разработана технология обогащения и гидрометаллургической переработки концентратов с получением лития, рубидия и цезия. При добыче и переработке 500 тыс. т руды можно получить 3600 т оксида лития в год и вместе с отвалами забалансовых руд Завитинского месторождения полностью закрыть потребности страны в литии. Но этого можно добиться только при восстановлении деятельности Забайкальского

ГОКа, который еще недавно располагал горно-обогатительным производством, инфраструктурой, жилым поселком, подъездными путями и базой стройиндустрии.

2. Насыпные отвалы хвостов СМС

Этот тип отходов является единственным масштабным примером практического использования техногенных отходов. Магнетитовые руды месторождения Ковдор на Кольском полуострове разрабатывались Ковдорским ГОКом с 1963 по 1980 г. исключительно на железо. Руда обогащалась сухой магнитной сепарацией, а хвосты складировались в соседних оврагах. К 1980 г. накопилось 70 млн т лежащих хвостов, содержащих 11 % P₂O₅ и 0,26 % ZrO₂. Была проведена буровая

разведка залежи и разработана гравитационно-флотационная технология извлечения бадделита (ZrO₂) и апатита. Всего из лежащих хвостов получено 4 млн т концентрата P₂O₅ с содержанием 38 % и 19 тыс. т концентрата ZrO₂ с содержанием 98 %.

На Ловозерском ГОКе при гравитационном обогащении лопаритовых руд в хвостах накапливается эвдиалит, содержащий цирконий и РЗМ иттриевой группы. В пределах массива разведано крупнейшее самостоятельное месторождение эвдиалита — Аллуйв. В АО «ВНИИХТ» совместно с Гиредметом разработана технология комплексного обогащения техногенных отвалов и эвдиалитовых руд с получением трех концентратов: эвдиалитового, эгиринового и нефелин-полевошпатового [11]. Обогащение включает мокрую магнитную и электрическую сепарации. Эвдиалитовый концентрат содержит (%): ZrO₂ — 12,0; РЗО — 2,0; Nb₂O₅ — 0,723; Ta₂O₅ — 0,041; HfO₂ — 0,167; SrO — 2,24. РЗМ имеют иттриевый состав: Y/ΣРЗО = 20,4; относительное содержание лантаноидов среднетяжелой группы (отн. %): Sm-Но — 15,1; Er-Lu — 5,1.

Переработка эвдиалитового концентрата могла бы полностью обеспечить ГК «Росатом» цирконием, иттрием и лантаноидами среднетяжелой группы. Из 1 млн т руды можно получить 190 тыс. т эвдиалитового концентрата и извлечь из него 23 тыс. т оксида циркония, 3800 т оксидов редких земель, в том числе 1100 т оксида иттрия. Однако до настоящего времени не удастся заинтересовать в переработке эвдиалита Ловозерского месторождения ни государственные, ни частные предприятия.

3. *Наливные шламохранилища хвостов ММС*

Хвосты ММС изучались на Качканарском ГОКе с целью извлечения из них скандия. В конце 1980-х — начале 1990-х годов возник настоящий «скандиевый бум». Объявленная цена на скандий почти достигала цены на золото, хотя практически его никто не покупал, и никто не продавал. Скандием стали заниматься сотни разных специалистов: горняки, геологи, технологи, металлурги. АО «ВНИИХТ» участвовал в открытии, разведке, разработке технологии переработки руд крупного уран-ванадий-редкоземельно-скандиевого месторождения в пределах известного Желтореченского уранового месторождения. Несколько позже после развала Советского Союза на базе скандиевых руд было создано украинско-американское СП, производящее алюминий-скандиевую лигатуру. В Лермонтовском рудоправлении Средмаша скандий начали извлекать из руд месторождения Меловое (Казахстан), представляющих детритом ископаемых рыб, содержащим уран, РЗМ и скандий.

В 1992–1993 гг. сотрудниками АО «ВНИИХТ» (В.И. Никонов, Т.А. Смолина, И.Д. Акимова и др.) была разработана технология извлечения скандия из хвостов ММС Качканарского ГОКа, добывающего и обогащающего титаномагнетитовые руды Гусевогорского месторождения (Свердловская обл.). В хвостах ММС, представляющих главным образом пироксен (диопсидом), содержится 130–200 г/т скандия. Сначала технология разрабатывалась на пробах, отобранных из лежалых хвостов. Были проведены лабораторные, укрупненные лабораторные, а затем и полупромышленные испытания. АО «ВНИПИпромтехнологии» было составлено технико-экономическое обоснование строительства опытно-промышленного предприятия для получения скандия из хвостов ММС. В 2000-х годах в АО «ВНИИХТ» были проведены опыты по извлечению скандия из пироксенового концентрата хвостов ММС текущей переработки по ранее разработанной технологии, которая еще раз подтвердила реальную возможность получения черного концентрата с содержанием скандия не менее 2 %.

Качканарский ГОК в 2014 г. добыл 58 млн т руды, из которой получено 10 млн т окатышей и агломератов, а более 40 млн т ушло в хвосты ММС. Всего с 1963 г. накоплено более 1 млрд т хвостов, в которых содержится 100–200 тыс. т скандия, а в ежегодных хвостах текущей переработки — 4–8 тыс. т. Такое количество явно превышает потребности всего мира в скандии. За почти двадцать лет, прошедших со скандиевого бума, ничего не изменилось, потребность в скандии в мире и в России осталась незначительной. В настоящее время скандий получают в небольшом количестве на ОАО «Гидрометаллургический завод» в г. Лермонтов из продуктов переработки ильменита, там же ведутся исследования по извлечению скандия и РЗМ из руд месторождения Томтор [8]. В АО «ВНИИХТ» разработана технология извлечения скандия из растворов подземного выщелачивания (ПВ)

урана. В настоящее время строится установка для получения скандия из растворов ПВ на Далуре.

В этих условиях следует признать, что создание предприятия на Качканарском ГОКе для извлечения скандия из хвостов ММС текущей переработки является бесперспективным. Тем более что предлагаемая высокочрезвычайно затратная технология не решает проблему техногенных отходов. Используется незначительная часть безвредных хвостов ММС, и добавляется 5–10 млн т чрезвычайно вредных отходов кислотной переработки пироксеновых концентратов с реагентами, содержащими фтор.

4. *Шламохранилища хвостов флотации*

Наиболее крупные шламохранилища хвостов флотации принадлежат Ловозерскому ГОКу на Кольском полуострове (флотация апатита) и Ярославскому ГОКу в Приморском крае (флотация флюорита). Ярославский ГОК обрабатывал флюоритовые месторождения Вознесенское и Пограничное.

В шламохранилище Ярославского ГОКа, занимающего площадь несколько квадратных километров, накоплены сотни миллионов тонн хвостов, содержащих в повышенных концентрациях бериллий, тантал, ниобий, литий и другие редкие металлы. Во ВНИИХТе изучены возможности извлечения редких металлов из шламов; были получены обнадеживающие результаты, но практически ничего не было сделано ни по извлечению полезных компонентов, ни по обезвреживанию высокотоксичных растворов.

Одно из крупнейших горнорудных предприятий мира — АО «Апатит» разрабатывает апатитовые месторождения Хибин. Начиная с 1930-х годов ежегодно добывается 27–30 млн т руды, из которой на флотационной фабрике извлекается до 10 млн т апатита, а 18–20 млн т уходит в хвосты, сбрасываемые в озера Имандра, Сейдозеро и р. Белая. За 80 лет накопилось 870 млн т отходов обогащения. В них заключено примерно 50 млн т апатита, 500 млн т нефелина, 25 млн т сфена и 20 млн т титаномагнетита [12]. За это время содержание P_2O_5 в добываемой руде упало с 28 до 13 %. Естественно изменилась и совершенствовалась технология флотационного обогащения.

Возникла идея изучить хвосты раннего периода деятельности предприятия, когда разрабатывались богатые руды и технология не была достаточно отработана, и в хвосты уходило значительное количество апатита [12]. Была проведена буровая разведка участков, куда сбрасывались хвосты с 1930 по 1964 г. Запасы P_2O_5 были подсчитаны по кат. С₁. На участке р. Белая были отобраны три технологические пробы из хвостов трех периодов: 1) 1930–1940 гг. с содержанием P_2O_5 — 3–5 %; 2) 1957–1963 гг. с содержанием P_2O_5 — 2–4 %; 3) 1963–1964 гг. с содержанием P_2O_5 — 1,9–2,5 %.

При обогащении было получено 5 концентратов: апатитовый, нефелиновый, эгириновый, сфеновый и титаномагнетитовый. Техничко-экономические расчеты показали, что переработка хвостов даже на обогащенных участках является нерентабельной и дальнейшие работы в этом направлении были прекращены.

Отходы обогащения продолжают накапливаться, а их практическое использование в ближайшие годы не предполагается.

5. Фосфогипс

Фосфогипс — отходы производства фосфорной кислоты для минеральных удобрений. Представлен он на 85–95 % дигидритом сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — гипсом. В России удобрения производятся из апатитового концентрата Хибинской группы месторождений и Ковдора. В год перерабатывается 4 млн т апатитового концентрата (по другим сведениям, даже 10 млн т [1]), при этом получается от 6 до 15 млн т фосфогипса. В СССР на 01.01.1989 г. в отвалах находилось 275 млн т фосфогипса, большая часть которого находится на территории России — по разным оценкам от 200 до 250 млн т. Утилизация фосфогипса является одной из серьезнейших проблем. При накоплении его в отвалах увеличивается отчуждение земель, ухудшается экологическая обстановка в районе отвала, вредные вещества проникают в почву, происходит пыление и выделение в газовую фазу фтора, что загрязняет атмосферу (рис. 2).

Фосфогипс обогащен редкоземельными элементами и стронцием. Содержание суммы лантаноидов и иттрия колеблется от 0,2 до 0,5 %, стронция — 0,5–0,9 %. РЗМ имеют ярко выраженный цериевый состав. По мнению академика Л.И. Леонтьева фосфогипс является главным источником РЗМ; при переработке всех отвалов фосфогипса можно получить 100 тыс. т РЗМ [6]. Имеются десятки вариантов технологий переработки фосфогипса, многие из них защищены патентами.

В АО «ВНИИХТ» разработана технология комплексной переработки фосфогипса методом углеаммониевой конверсии с последующей азотнокислотной обработкой конверсионного мела и выделением дезактивированного суммарного оксидного концентрата. По этой технологии, кроме РЗО, можно получить дополнительную продукцию для разных отраслей промышленности — сульфат аммония, аммиачную селитру, осажденный карбонат кальция чистотой не менее 98,5 %, высококачественный гипс (не менее 98,8 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в условиях оборота азотной кислоты. В нерастворимом остатке после отделения раствора нитрата кальция происходит концентрирование РЗО с 0,3 до 2,3 %. Извлечение РЗО в остаток составляет 90–95 %. После азотнокислотного разложения нерастворимого остатка РЗМ осаждаются в виде оксалатов.

В АО «ВНИИХТ» имеется несколько вариантов технологии извлечения стронция из фосфатного сырья, в том числе и из фосфогипса.

К сожалению, всестороннее рассмотрение проблемы отвалов фосфогипса приводит к пессимистическому заключению о несовместимости между теоретическими возможностями полной ликвидации отвалов фосфогипса с получением целого ряда полезных продуктов и невозможностью практической реализации безотходной технологии. Дело в том, что извлечение РЗМ из фосфогипса имеет более дешевую альтернати-



Рис. 2. Отвалы фосфогипса Гомельского химического завода

ву в виде получения их непосредственно из концентратов апатита в процессе производства удобрений или при переработке богатых редкоземельных руд.

В настоящее время потребление РЗМ в России весьма ограничено (порядка 450 т в год). Соликамский магниевый завод ежегодно производит 2400 т суммарного концентрата РЗО при переработке лопаритового концентрата и большую часть экспортирует в Казахстан и Эстонию. Завод «Акрон» (Нижний Новгород) начал переработку апатита с месторождения Олений Ручей (Хибины). В 2016 г. произвел всего 200 т суммарного концентрата РЗО и пока вынужден продавать его в Китай. Хотя основным доводом против создания предприятия было: «Проще купить в Китае, чем развивать собственную редкоземельную промышленность» [1]. ГК «Ростех» получила лицензию на разработку крупнейшего редкоземельно-ниобиевого месторождения Томтор, в рудах которого содержание РЗМ в 30 раз выше, чем в отвалах фосфогипса. Разработку месторождения планируют начать в 2019 г. ГК «Ростех» собиралась, начиная с 2020 г. ежегодно выпускать 12 тыс. т РЗМ, из которых 2 тыс. т будут использоваться в России, а 10 тыс. т экспортироваться в Японию [9]. В таких условиях начинать крупномасштабное производство РЗМ из фосфогипса бесперспективно. Это относится и к стронцию, который получают из того же хибинского апатита и из собственных celestine месторождений стронция.

Различного вида стройматериалы и удобрения производятся в весьма ограниченном количестве мелкими предприятиями, которые не в состоянии переработать сотни миллионов тонн фосфогипса, скопившихся около десятка заводов фосфатных удобрений. Например, на АО «Аммофос» в Череповце заскладировано более 15 млн т, а на АО «Воскресенские минудобрения» около 20 млн т. Обычно строительные организации имеют в каждом районе постоянных поставщиков стройматериалов и заставить их срочно переключиться на фосфогипс невозможно. Для местных потребителей вполне хватит ежегодных отходов производства текущей переработки, а многомиллионные отвалы необходимо рекультивировать:

облагораживать, выравнивать, засаживать кустарниками и деревьями, некоторые из них могут быть превращены в зоны отдыха, в том числе в горнолыжные базы. Такая работа немыслима без участия государства и бюджетных затрат. За границей фосфогипс используется для создания искусственных островов, а в США, например, для создания рифов для разведения креветок.

6. Красные шламы

Красные шламы (КШ) — один из наиболее емких типов отходов химической промышленности, получаемых на алюминиевых заводах по производству глинозема по способу Байера. Наливные шламохранилища занимают огромные площади. Например, на Уральском и Богуславском заводах — по 6,5 км². КШ относятся к высокотоксичным отходам и представляют опасность заражения почв, поверхностных вод и атмосферы. Проблема их утилизации стоит уже более 50 лет и до сих пор не существует способа ее решения [4].

В АО «ВНИИХТ» разработана сорбционная технология извлечения скандия и РЗМ из хвостов текущей переработки Николаевского алюминиевого завода и галлия из продуктивных растворов. При сорбционной технологии отработанная пульпа после стужения поступала частично на получение коагулянтов, а часть — на изготовление строительных материалов: кирпича, строительных блоков и облицовочной плитки.

Несмотря на успешное проведение на опытном заводе полупромышленных испытаний с получением скандия и галлия, промышленное производство организовать не удалось из-за отсутствия спроса на эти металлы.

Необходимо отметить, что если бы на нескольких заводах удалось бы утилизировать текущие отходы, то проблема ликвидации КШ, накопленных в шламохранилищах за десятки лет, все равно не была бы решена. На Николаевском глиноземном заводе некоторое количество КШ уходит в виде железной добавки к цементу [10]. Пятнадцать цементных заводов потребляют несколько сотен тысяч тонн красных шламов, тогда как в шламохранилищах накоплены сотни миллионов тонн.

Существует множество предложений по переработке КШ, но ни одно из них не нашло применения. Л.И. Леонтьев [6] пишет о своем участии в Международной конференции в 1968 г. в Словакии, на которой немцы предложили три способа утилизации красных шламов, венгры — два и Л.И. Леонтьев — один. Но до сих пор ни один из этих способов не был реализован. А между тем шламохранилища КШ представляют собой большую опасность для окружающей среды. Николаевское шламохранилище переполнено и случаются прорывы сильно щелочных вод в речную систему Черного моря. В Венгрии в 2010 г. на заводе в г. Айне, находящемся в 160 км от Будапешта, была разрушена плотина и произошла утечка 1,1 млн м³ КШ. Затопленными оказались территории трех областей, и через несколько дней шлам достиг Дуная.

Ликвидировать старые шламохранилища, переработав все КШ на полезные продукты, невозможно; действующие предприятия за это не возьмутся, т.к. затраты скажутся на себестоимости основной продукции, что сделает их неконкурентоспособными. Однако они вынуждены следить за безопасностью производства, вовремя поправлять огораживающие дамбы и предупреждать утечки.

Единственным выходом из создавшегося положения является создание безотходных или хотя бы малоотходных технологий. На этот путь твердо встала компания «Русал» и уже достигла некоторых успехов [10]. Технический директор компании «Русал» В. Манн сообщает, что на экологические и природоохранные мероприятия компания ежегодно направляет около 100 млн долл. США. Постоянно совершенствуется технология получения и себестоимость глинозема. Внедрение программы оснащения всех предприятий сухими газоочистными установками, улавливающими до 99 % вредных веществ из отходящих газов. С 2015 г. начались испытания технологии переработки и «ультрасухого» складирования КШ, что позволяет снизить затраты на его хранение и минимизировать риски загрязнения почв и подземных вод щелочью. Извлечение редких металлов, начиная со скандия, производится не из отходов, а непосредственно в процессе переработки бокситов. Разработана уникальная карбонатизационная технология извлечения скандия из КШ, не оказывающая негативного влияния на глиноземное производство. Ведутся исследовательские работы по использованию скандия в алюминиевых сплавах, что должно привести к резкому увеличению спроса. Мировое потребление скандия в 2015 г. составляло 10–15 т. Планируется, что в ближайшем будущем скандий станет ключевым материалом для аэрокосмической, транспортной и энергетической промышленности. Для этого необходимо снизить себестоимость получения скандия и скандий содержащих сплавов. Пока скандиевые сплавы очень дорогие — 12–15 тыс. долл. за тонну. «Русал» планирует снизить себестоимость до трех тыс. долл. за тонну. На первом опытном участке, на Уральском алюминиевом заводе в условиях малого спроса получают всего 100 кг скандия, по мере увеличения спроса и снижения себестоимости будут созданы типовые модули на 2–3 т в год, и есть возможность увеличить объемы до 10 т в год. В дальнейшем планируется создание установки для извлечения иттрия и галлия.

«Русал» занимается вопросами переработки КШ многие годы, чтобы достичь переработки хотя бы 30–50 %, но пока комплексная переработка КШ экономически не выгодна и совершенно необходима государственная поддержка. Все мировые компании работают над проблемой безотходного глиноземного производства, в том числе и «Русал».

7. Пиритные огарки

Пиритные огарки являются отходами производства серной кислоты. Пирит обжигается в печах кипящего слоя с образованием серного ангидрида, из которого

получают серную кислоту и огарков, направляемых в отвал. Масса накопившихся огарков достигает многих миллионов тонн. На сернокислотном заводе АО «Аммофос» в г. Череповец в год образуется более миллиона тонн, на АО «Минудобрения» в г. Мелиуз (Башкортостан) — 350–500 тыс. т. Отвалы пиритных огарков представляют собой экологическую опасность. В жидкой фазе шламохранилищ накапливаются токсичные примеси: мышьяк, медь, цинк, железо. Сухие отвалы опасны из-за пылеобразования и зараженности дождевых вод серной кислотой, мышьяком и тяжелыми металлами.

Пиритные огарки представляют интерес постоянными концентрациями в них цветных и благородных металлов и железа. В огарках отмечаются следующие содержания (%): Fe — 30–50; Cu — 0,4–0,6; Zn — 0,5–0,8; Au 1,0–2,5 г/т; Ag — 30–50 г/т. Существует множество вариантов технологий переработки пиритных огарков, в промышленных масштабах применяется низкотемпературный хлорирующий обжиг, хлоридовозгонка, сульфатизирующий и магнетизирующий обжиг. В АО «ВНИИХТ» разработано несколько вариантов технологических схем, в том числе с использованием автоклавов, комплексного извлечения золота, серебра, меди, цинка и железа.

Необходимо отметить, что все существующие схемы переработки огарков включают много технологических операций и характеризуются сложным аппаратным оформлением, требуют наличия поблизости металлургических центров для утилизации железа, поэтому пока в России пиритные огарки почти не используются, кроме как в небольшом количестве в качестве присадки к цементному клинкеру. За рубежом пиритные огарки используются давно и в значительных количествах, особенно в странах, в которых не хватает железа. В Италии, Японии и Австрии они составляют половину сырья, употребляемого для выплавки железа. В Германии перед второй мировой войной из огарков выплавлено 5 % всего чугуна. В ФРГ в 1953 г. из огарков получено 1,3 млн т чугуна (12 % от его выпуска в стране). Великобритания еще в 1900 г. переработала 415 тыс. т огарков. В Германии в 1933 г. хлорирующему обжигу подвергли 536 тыс. т пиритных огарков и извлекли 321 тыс. т железа, 9,1 тыс. т меди, 6,8 тыс. т цинка, 21 т серебра и 5,4 т золота.

В России упор делается главным образом на извлечение из пиритных огарков золота и серебра способом кучного цианирования. Но при этом надо понимать, что даже после успешного извлечения благородных металлов, оставшиеся отходы становятся еще более вредными для окружающей среды, чем сами огарки.

8. Отвалы шлаков и пыли, образующиеся при выплавке черных и цветных металлов

Только в Уральском регионе по данным А.П. Вержанского [3] накоплено 2,4 млн т отходов предприятий черной металлургии и 414 тыс. т — цветной металлургии. Из них переработано всего 0,26 и 0,27 % отходов соответственно. Только в Свердловской области насчитывается 188 объектов техногенных отходов с

общей массой 8,5 млрд т. Особенно интересны шлаки и пыли предприятий цветной металлургии. Они содержат медь, цинк, никель, кобальт и целый ряд редких металлов с содержанием (г/т): Bi — 5–13; Ag — 1,5; Cd — 23; Se — 9; Te — 8. Подавляющая часть отходов не используется.

На предприятии «Уралредмаш» работает 12 частных компаний, извлекающих из отходов цветные и благородные металлы. По данным Л.И. Леонтьева [6], на ПАО «Северсталь» шламы очистки электропечей содержат до 15 % цинка, тогда как в исходной руде всего 4 %. На Челябинском цинковом заводе было собрано более 300 тыс. т пыли с Северстали и других предприятий и внедрена технология извлечения из этих отходов олова, свинца, цинка и меди. Но это было эпизодической работой и после ее окончания, она больше не возобновлялась.

Необходимо отметить, что при извлечении из техногенных отходов цветных и техногенных металлов экологическая обстановка не улучшается, а даже ухудшается. После кучного выщелачивания золота способом цианирования остаются штабели, представляющие большую опасность, чем отвалы шлаков. При извлечении цветных и редких металлов используют обычно кислотные растворы, что приводит к образованию большого количества сульфатов.

9. Золошлаковые отвалы электростанций

В России ежегодно сжигается 250 млн т угля, при этом производится более 30 млн т золы и шлаков. Всего накоплено порядка 1,5 млрд т отходов, занимающих 20 тыс. км² земли, из которых используется менее 10 %, тогда как в Европе — 90 %, главным образом при производстве цемента и бетона [12]. В этих отходах отмечается повышенное содержание германия, галлия, РЗМ, ванадия, молибдена, скандия, урана, золота и серебра. В АО «ВНИИХТ» с начала 1990-х годов проводились работы по изучению золошлаковых отвалов тепловых электростанций. Опробованы отвалы и проанализированы пробы 18 ТЭЦ и ГРЭС, работающих на углях Подмосквового, Кузнецкого, Забайкальского, Экибастузского, Приморского и



Рис. 3. Опробование золошлакового отвала Северской ТЭЦ

Павлоградского бассейнов (рис.3). Целью исследований была разработка технологии утилизации отвалов с получением строительных и других полезных материалов и определение возможности извлечения редких металлов. Общий подход к изучению отходов заключался в определении гранулометрического состава и выделение тонких фракций, идущих на изготовление ячеистого бетона, силикатного кирпича, огнеупоров и облицовочной плитки, флотации «недожога», магнитной сепарации с получением железо-алюминиевых коагулянтов для очистки воды и высокоградиентной электромагнитной сепарации с получением фракций, идущих на извлечение редких металлов.

Была разработана технология извлечения РЗМ, ванадия, скандия, германия и галлия, но все эти металлы имеют более выгодные альтернативные источники, и извлекать их из золы экономически не оправдано. Из редких металлов наибольший интерес представляет германий, но он извлекается не из лежалых отвалов, а в процессе сжигания углей.

Потребности в германии небольшие, мировые потребности оцениваются всего в 165 т. Ранее в СССР цепочка получения германия была сложной: уголь, добытый на Тарбагатайском разрезе, сжигался на Читинской ТЭЦ-2, обогащенная германием зола уноса улавливалась специальными фильтрами и направлялась на Медногорский медно-серный комбинат, а с 1962 г. — в Узбекистан, на Ангренский химико-металлургический комбинат, где получали черновой концентрат, который перерабатывался на предприятии «Германий» в г. Красноярск [7]. В 1962–1963 гг. в Красноярске производилось 600 кг монокристаллического германия.

В России промышленные запасы германия сосредоточены в трех регионах: Сахалинской и Читинской областях и Приморском крае. На шести месторождениях в углях запасы германия составляют от 0,4 до 2,6 тыс. т при содержании от 50 до 1000 г/т. В настоящее время ООО «Германий и приложения» собирает зольные уносы с повышенным содержанием германия, образующиеся при сжигании углей Павловского месторождения в Приморье. Это обеспечивает производство в объеме 10 т в год.

В Европе производителями электроэнергии основана Европейская Ассоциация продуктов сжигания углей, регулирующая переработку образующихся отходов. Большая часть золошлаковых отходов подвергается гидроклассификации и мелкие фракции используются при производстве цемента и бетона. В России нет организации, которая отвечала бы за удаление или хотя бы за сокращение неблагоприятных последствий хранения отходов сжигания углей.

Выводы

Детальное ознакомление с современным состоянием техногенных отходов приводит к неизбежному выводу о том, что, по меньшей мере, шесть типов из рассмотренных девяти полностью ликвидировать невозможно, и речь может идти только о сокращении неблагоприятных последствий их хранения.

В шламохранилищах хвостов обогащения ГОКов (Ловозерского, Качканарского, Михайловского, Ярославского) и алюминиевых заводов (Уральского, Богуславского, Николаевского и др.) за десятилетия накоплены многие сотни миллионов тонн отходов, переработать которые целиком с получением ценных металлов и полезных материалов не представляется возможным. Это относится и к сухим отвалам производства удобрений (фосфогипса), выплавке цветных и черных металлов и золошлаковым отвалам электростанций. Для выполнения таких работ нет ни специальных предприятий, ни материальных средств. К тому же такое количество получаемых материалов в отдельном регионе использовать невозможно, а перевозка на большие расстояния невыгодна. В настоящее время техногенные отходы используют в незначительных количествах для местных нужд, но это не решает проблему их хранения.

Единственным положительным примером ликвидации техногенных отходов является переработка Ковдорским ГОКом лежалых хвостов СМС. Всего переработано 70 млн т и получено 4 млн т апатитового концентрата и 19 тыс. т оксида циркония.

Нет никаких технических причин отказываться от использования отвалов забалансовых руд Завитинского месторождения, из которых можно получить до 4 тыс. т оксида лития. Тем более, что обогатительная фабрика ЗабГОКа сохранилась, и единственным препятствием являются организационные неполадки на комбинате, который прекратил свое существование как единое предприятие. Некондиционная руда, по существу, не является отходами и складировается для будущего использования. Но когда рудник закрывается, она превращается в техногенные отходы, опасные для окружающей среды.

Остается нерешенной проблема использования пиритных огарков для извлечения благородных металлов и железа. Для этого существует множество технологий, но все они в российских условиях находятся на грани рентабельности. Исследования по совершенствованию технологии переработки и снижению себестоимости продукции продолжаются и есть надежда, что в ближайшее время найдутся предприятия, заинтересованные в переработке этого типа техногенных отходов.

Возможности рентабельного извлечения редких металлов из техногенных отходов сильно преувеличены. В реальности доля металлов, полученных из отходов, несопоставима с добычей из первичных природных источников. В процессе извлечения металлов с низким содержанием (до десятых долей процента) объем техногенных отходов уменьшается незначительно, а чаще, напротив, увеличивается за счет используемых реагентов. Новые хвосты обычно содержат кислоты, щелочи, цианиды и являются более опасными для окружающей среды.

Невозможность полной ликвидации крупных техногенных объектов делает необходимым проведение работ по снижению неблагоприятных последствий их хранения. Некоторые мероприятия в этом направле-

нии, без которых ставится под удар их основная деятельность, вынуждены проводить действующие предприятия. Это главным образом подновление дамб, окружающих шламохранилища, и предупреждение утечек токсичных растворов.

Но основная работа по снижению экологической опасности техногенных отходов заключается в их **рекультивации**. Рекультивация представляет комплекс горнотехнических, инженерно-строительных, сельскохозяйственных и озеленительных работ, направленных на восстановление ландшафтов, продуктивности земель и улучшение условий окружающей среды. Проведение таких работ, по мнению большинства специалистов, немисливо без участия государства и вложения бюджетных средств.

В будущем проблема техногенных отходов должна решаться рекультивацией накопленных многомиллионных лежалых хвостов и созданием безотходной технологии, при которой все ценные металлы извлекаются в процессе основного производства, а хвосты текущей переработки полностью перерабатываются с получением материалов для различных отраслей промышленности.

На путь создания безотходной технологии встали крупнейшие российские предприятия: Объединенная компания «Русал» и ГК «Ростех». Целью новых технологий, прежде всего, является снижение себестоимости основного производства, что позволяет накапливать средства на экологические и природоохранные мероприятия.

«Русал» создал революционную технологию электролиза, значительно снизившую себестоимость производства алюминия, активно разрабатывает технологию «ультрасухого» складирования красных шламов, позволяющую снизить нагрузку на шламохранилище, уменьшить риск загрязнения почв и подземных вод щелочами.

Редкие и редкоземельные металлы извлекаются на стадии переработки бокситов и получения глинозема по уникальной карбонатизационной технологии. Мощность модулей учитывает спрос на металл. Сейчас извлекают всего 100 кг скандия, но при увеличении спроса выпуск может быть доведен до 3000 кг и до 10000 кг в год.

Самым большим недостатком редкометалльной промышленности является низкий спрос на редкие металлы. «Русал» и «Ростех» стремятся создавать полный цикл производства для инициирования спроса, от добычи и переработки руд до получения чистых соединений и использования их в новой технике и наукоемком производстве. ГК «Ростех» планирует довести внутренний спрос на РЗМ до 2000 т, а импорт РЗМ, которые начнут добывать на месторождении Томтор уже в 2020 г., — до 10000 т. «Русал» разрабатывает скандий-алюминиевые сплавы, которые найдут применение в аэрокосмической, транспортной и энергетической промышленности.

Технология переработки с получением полезных материалов разработана для всех типов техногенного

сырья, но она не находит практического применения из-за низкой потребности в редких металлах и экономической целесообразности переработки конкретных крупнотоннажных техногенных объектов. Эту проблему должны решать не технологи, а специалисты с государственной компетенцией, знающие потребности страны в целом и отдельных регионов, планы развития передовых отраслей промышленности и военнопромышленного комплекса, имеющие возможность сравнивать альтернативные техногенные и природные источники, уметь оценивать тенденции мирового рынка. За границей этой проблемой занимаются специально созданные Ассоциации и Комиссии. По их примеру в России также нужно создать государственную организацию типа «Агентство по обращению с техногенными отходами». В его задачу должно входить:

— создание кадастра техногенных объектов с указанием их размеров и степени опасности для окружающей среды;

— оценка возможности их ликвидации или частичной переработки и рекультивации, составление календарных планов и смет затрат;

— установление объемов переработки, с учетом возможности использования полученных материалов в конкретном регионе;

— создание и финансирование предприятий для выполнения запланированных мероприятий;

— осуществление экологического контроля над основными производителями техногенных отходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Акрон» — секрет успеха // Редкие земли. — 2017. — № 1 (8). — С. 76–81.
2. Бугриева, Е.П. Перспективные источники редких и редкоземельных элементов (Sc, Zr, Li, TR) / Е.П. Бугриева, В.И. Дякин, О.К. Крылова, А.В. Тарханов // ВНИИХТ — 65 лет (1951–2016): Сборник научных трудов. — М.: ООО «Винпресс», 2016. — С. 56–65.
3. Вержанский, А.П. Техногенное сырье — важнейший резерв развития / А.П. Вержанский // Редкие земли. — 2016. — № 2 (7). — С. 103–109.
4. Корнеев, В.И. Красные шламы. Свойства, складирование и применение / В.И. Корнеев, А.Г. Сусс, А.И. Цеховой — М.: Металлургия, 1991. — 144 с.
5. Лаврентьев, А.В. Оценка возможности предварительного обогащения забалансовых руд отвалов Завитинского месторождения / А.В. Лаврентьев, И.Г. Балакина // ВНИИХТ — 65 лет (1951–2016): Сборник научных трудов. — М.: ООО «Винпресс», 2016. — С. 90–94.
6. Леонтьев, Л.И. Промышленные отходы — чемадан без ручки / Л.И. Леонтьев // Редкие земли. — 2016. — № 2 (7). — С. 112–117.
7. Наумов, А.В. Грани германия / А.В. Наумов // Редкие земли. — 2017. — № 1 (8). — С. 168–175.
8. Редкие металлы Сергея Махова // Редкие земли. — 2016. — № 2 (7). — С. 54–67.
9. «Ростех» — редкоземельное направление // Редкие земли. — 2017. — № 1 (8). — С. 82–85.
10. «Русал»: экотехнологии и скандиевый проект // Редкие земли. — 2017. — № 1 (8). — С. 98–103.
11. Тарханов, А.В. Перспективы освоения редкометалльно-редкоземельных эвдиалитовых руд Ловозерского месторождения / А.В. Тарханов, А.В. Курков, А.К. Ильин // Горный журнал. — 2012. — № 4.
12. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы / Под ред. Б.К. Михайлова — М.: Научный мир, 2012. — 236 с.

© Тарханов А.В., Бугриева Е.П., 2017

Тарханов Алексей Владимирович // Otdel-a@vniiht.ru
Бугриева Елена Павловна // bugrieva@yandex.ru