

Раздел второй
**МАТЕРИАЛЫ РЕАКТОРОВ
НА ТЕПЛОВЫХ И БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

УДК 669.054.83:546.79

РАДИОАКТИВНЫЕ МЕТАЛЛЫ В КРАСНЫХ ШЛАМАХ

Г.А. Колобов, А.Г. Кириченко, О.С. Воденникова, В.О. Панова
*Инженерный институт Запорожского национального университета,
Запорожье, Украина*
E-mail: panova_vira@ukr.net; тел. +38(097)526-20-33

Проанализирована радиоактивность материалов глиноземного производства. Приведены основные сведения о содержании радиоактивных металлов в бокситах и красном шламе (КШ). Рассмотрены технологии извлечения радиоактивных металлов из КШ.

ВВЕДЕНИЕ

При переработке бокситового сырья на глинозем по способу Байера алюминий и большая часть галлия переходят в алюминатный раствор, а нерастворимая при выщелачивании часть боксита образует осадок – так называемый красный шлам (КШ). При этом на каждую тонну получаемого глинозема образуется от 0,7 до 1,5 т КШ в зависимости от состава перерабатываемого боксита. В КШ из боксита частично переходят такие редкие металлы, как ванадий, титан, цирконий, ниобий и тантал. Практически полностью в КШ переходят редкоземельные металлы (РЗМ): скандий, иттрий, а также лантан, церий и неодим. В виде микропримесей в КШ содержатся такие радиоактивные металлы, как уран и торий. Технологии извлечения этих металлов из КШ описаны в трудах конференций, монографиях, в частности [1–5], и других источниках.

Исследование переработки радиоактивных металлов из вторичного сырья давно привлекало возможностью получения дешевого качественного конечного продукта. Изучение и анализ рециклинга вторичных радиоактивных металлов обобщены нами ранее в работах [6, 7].

**РАДИОАКТИВНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ
ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Радиоактивность КШ является наследственной, полученной от перерабатываемых по способу Байера материнских бокситов. Известно, что бокситы многих рудных районов мира характеризуются повышенной радиоактивностью. Так, по данным [8, 9], коэффициент концентрирования тория в бокситах составляет 3,4...4,2. В работе [10] указывается, что бокситы (бразильские) являются основным источником радиоактивности в процессе Байера. С использованием гамма-спектроскопии и нейтронно-активационного анализа было установлено, что исследуемые бокситы имели активность (37 ± 12) Бк/кг для ^{238}U и (154 ± 16) Бк/кг для ^{232}Th . В работе [11] сообщается, что используемые в Австралии египетские бокситы показывают активность ~ 120 Бк/кг для ^{235}U и от 289 до 575 Бк/кг для ^{40}K . Средняя величина радиоактивности бокситов Саудовской Аравии (регион Кассим) составляет порядка 107 Бк/кг

для ^{232}Th и 192 Бк/кг для ^{40}K [12]. Ряд бокситовых месторождений на территории Сибирской платформы также характеризуется повышенными концентрациями тория: от 25...50 до 200 г/т и выше [13].

Образовавшийся КШ имеет концентрацию радионуклидов выше, чем у бокситов. Так, в работе [14] описано, что при производстве глинозема из ямайских бокситов установлено увеличение содержания урана, тория, актиния и их потомков (свинца, висмута) в КШ. По данным работы [15], проба КШ УА-3а (РФ) содержала 64 г/т тория, КШ БА3а (РФ) – 89 г/т (при содержании тория в исходном боксите 22 г/т). Урана в пробах было менее 0,01 г/т. КШ НГЗ (Украина) содержит порядка 50...60 г/т тория и 20...30 г/т урана [16]. В то же время проведенный нами химический анализ КШ производства ЗАЛК (Украина) показал, что радиоактивные элементы либо отсутствовали, либо находились в виде следов [17].

В работе [18] исследовали образцы КШ, которые с помощью методов минералогии были разделены на фракции. Торий и уран имели тенденцию накапливаться в легких фракциях (159 против 102 мг/г в целевой пробе для тория и 31,3 против 25 мг/г для урана). Ни уран, ни торий не концентрировались в магнитных фракциях, а торий имел тенденцию накапливаться в мелкой фракции (-20 мкм) (120 против 99,9 мг/г в целевой пробе) и находился преимущественно в перовските. Авторы [18] пришли к выводу, что физические методы для извлечения радиоактивных элементов или снижения их содержания в КШ не являются эффективными.

Как известно, КШ может использоваться в качестве материала для дорожной и строительной индустрии, в том числе и для изготовления керамики. Многие исследователи указывают, что это направление является наиболее реальным для утилизации КШ. Однако наличие радиоактивных элементов ограничивает использование КШ для этих материалов [19, 20]. Для снижения радиационной активности КШ до приемлемого уровня был предложен ряд решений [21–24]. Так, например, в работе [23] рекомендуется в керамическую смесь добавлять карбонат бария, который способствует образованию в ней поглощающих излучение стекловидных фаз.

Повышенное внимание уделяется также обеспечению радиационной безопасности КШ при его хранении и использовании для рекультивации земель [25, 26].

На промышленном объекте исследовали безопасность людей и окружающей среды от наличия остатков КШ [27]. Оценка доз облучения изотопами ^{238}U и ^{232}Th была выполнена с помощью нейтронно-активационного метода. Фантомы использовали для наблюдения за распределением дозы облучения по всему телу человека, демонстрируя радиационное воздействие на каждый отдельный орган.

В работе [28] подчеркивается, что крайне важно, чтобы глинозем, используемый для производства электронных устройств, содержал минимально низкий уровень α -излучения, основным источником которого в глиноземе является уран и в меньшей степени – торий. Показано, что в процессе Байера часть урана осаждается вместе с гидроксидом алюминия, и его содержание контролируется содержанием в растворе органических веществ.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ КШ

На сегодняшний день вопросы утилизации КШ с извлечением из них редких, редкоземельных и радиоактивных металлов являются приоритетными. Большинство методов извлечения ценных металлов из КШ являются гидрометаллургическими, хотя используются и пирометаллургические (после обезвреживания шлама). Отмечается [29], что РЗМ легче выщелачиваются из КШ, чем из бокситов из-за различий в их минеральном составе и морфологии.

В работе [30] избирательное выделение тория из растворов, образовавшихся при переработке КШ уральских заводов, осуществляли соосаждением с сульфатами кальция или бария. Поскольку сорбционная активность сульфата бария в 10–20 раз превышает соответствующее значение для сульфата кальция, для выделения тория из BaSO_4 требуется меньший избыток серной кислоты. При переработке растворов, содержащих 40...80 мг/дм³ тория, необходимо для его извлечения в твердую фазу на 90...99% вводить в исходный раствор по 5...10 г/дм³ BaCl_2 и H_2SO_4 . Количество вводимых BaCl_2 и H_2SO_4 должно обеспечивать избыток сульфат-ионов по отношению к сумме содержания бария и кальция и образование в растворе отрицательно заряженных частиц. Так как в производственных условиях в растворах всегда присутствует кальций, в твердую фазу выделяются смешанные осадки BaSO_4 и CaSO_4 , содержащие торий.

С помощью селективного комплексообразователя была проведена дезактивация КШ с выделением уран-ториевых продуктов для захоронения [31]. Предполагается, что при дезактивации шлама в количестве 1 млн т/год удастся выделить более 2,5 т урана и 1,5 т тория с попутным получением до 30 т/год соединений скандия.

Авторами [32] разработана комплексная технология серно-кислотной переработки КШ с извлечением урана, РЗМ и алюминия. Для извлечения радиоактивных и РЗМ из КШ Среднего Тимана (Республика Коми, РФ) использовали серно-кислотное

выщелачивание при температуре 90...120 °С и отношении Т:Ж = 3:10. Извлечение в серно-кислый раствор РЗМ, тория и скандия составило 92...99%, а железа, алюминия и фосфора – 98%. Титан, ниобий, гафний и стронций остаются в твердом остатке. Сорбционное выделение уран-ториевых продуктов, а также попутное получение соединений скандия и доизвлечение алюминия и РЗМ проводили при pH = 1,5 на универсальном катионите КУ-2.

Наиболее часто извлекаемыми из КШ элементами являются скандий и иттрий. При этом скандий является наиболее ценным элементом среди РЗМ, которые присутствуют в КШ. По оценкам авторов работы [33], он составляет более 95% экономической ценности РЗМ в КШ.

Если считается, что в бокситах содержится в среднем 0,001...0,01% Sc_2O_3 , то в КШ его содержание уже составляет 0,01...0,02%. Как было показано в [34], при выщелачивании бокситов РЗМ концентрируются в КШ, и скандий переходит из бокситов в КШ на 95%.

Наиболее перспективным способом извлечения скандия, согласно работе [16], является серно-кислотное вскрытие КШ с последующими сорбцией его на ионообменных смолах (АФИ-21, АФИ-22, СФ-4, СФ-5) и десорбцией раствором Na_2CO_3 . Авторам удалось извлечь большую часть урана и тория из серно-кислого раствора КШ совместно со скандием, извлечение которого составило до 50%. Полного осаждения скандия достигли добавлением в раствор избыточной (до 20...30 г/л) щелочи. Сырой скандиевый концентрат после выделения титана содержал 5...7% Sc; 4,5% U; 0,9% Th.

При серно-кислотном выщелачивании КШ вместе со скандием извлекают иттрий и другие РЗМ. Для извлечения иттрия предлагается обработка КШ 5...7%-м раствором HCl при 85...95 °С и отношении Ж:Т = (3...5):1. Предложенная технология позволяет, наряду с выделением уран-ториевого продукта и солей скандия, получать концентрат РЗМ, содержащий 15...25% La_2O_3 [16].

Согласно технологической схеме сорбционного выщелачивания урана и скандия из КШ, образовавшихся при переработке гвинейских и ямайских бокситов по способу Байера, получают титановый кек (30...40% титана), оксид скандия марки ОС-99, железоломиниевый коагулянт. При этом раствор, содержащий радионуклиды урана и тория, направляют на утилизацию.

При экстракции/сорбции скандия из кислых растворов на фосфорсодержащих экстрагентах/ионитах [35] извлечение скандия из элюата в концентрат превышает 97%. Содержащиеся в осадке примеси солей тория и других элементов отделяют фильтрованием. При извлечении скандия и других РЗМ, а также тория, циркония и титана экстракт промывают раствором 4,5 моль/дм³ раствором H_2SO_4 . Реэкстракцию проводят раствором щелочи 0,25 моль/дм³.

Избирательное извлечение тория из скандиевых концентратов осложнено сходством физико-химических свойств ионов тория и скандия. Для решения данной проблемы авторы [36] используют различия в сорбции гидролизированных ионов тория и ионов

скандия на смеси сульфокатионита КУ-23 с анионитом из растворов с $\text{pH} \sim 3$ при температуре 60...90 °С. В результате в катионит переходит до 95...98% Th. Примеси ионов скандия из катионита удаляют промывкой 0,5...2,0 н растворами солей NaCl, KCl и др. Десорбцию тория проводят растворами NaCO_3 . Подобный эффект был достигнут также на КУ-23 при введении в исходный раствор 50...150 г/дм³ MgCl_2 . Полученные продукты содержали 1...10 г/дм³ скандия и 1...2 г/дм³ тория.

Существенным недостатком экстракционных методов извлечения из растворов скандия совместно с радиоактивными элементами является необходимость введения дополнительных переделов для очистки от них скандиевых концентратов.

В работах [37, 38] предлагается карбонизационная технология извлечения скандия из пульпы КШ, позволяющая снизить токсичность шламовых полей. Последующий двухстадийный гидролиз с использованием носителя (соосадителя) ZnO позволяет получить промышленный продукт с содержанием до 5% Sc_2O_3 .

В процессе карбонизации КШ в раствор переходит целый ряд элементов, в том числе уран, торий и другие, склонные к образованию карбонатных соединений. Внесенные с пульпой КШ галлат натрия, гидроксиды титана, циркония, урана и тория взаимодействуют с бикарбонатом и образуют двойной основной карбонат [39] $\text{Na}_2\text{O}(\text{Al,Ga})_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, а также растворимые комплексы $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ и $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]^{2-}$. Содержание элементов в продуктивном растворе после первого цикла карбонизации КШ дымовыми газами (продолжительность газации 24 ч) следующее, мг/л: 25,0 – Ti; 5,4 – Sc; 0,17 – Th; 0,34 – U [40].

В опытно-промышленном масштабе в результате многократной карбонатно-гидрокарбонатной обработки КШ (как углекислым газом, так и реактивным NaHCO_3) в раствор переходят скандий, титан, цирконий, уран, торий, а также мелкодисперсная взвесь гидроксидов алюминия, железа, кремния, кальция и других элементов [41]. Скандий, растворенный в осветленном растворе, гидролизуют на второй стадии при 100 °С в течение 2 ч. При проведении гидролиза и осаждении скандия в качестве осадителя использовали цинкат натрия, который образовался при введении в щелочной раствор ZnO . Осадок от второй стадии является первичным скандиевым концентратом, который содержит, %: 2,26 – Sc; 0,007 – U; 0,014 – Th.

Для выделения из КШ скандия, сопутствующих продуктов (алюможелезных коагулянтов, обогащенного железного концентрата), других РЗМ и радиоактивных элементов используют также такие приемы, как разделение пульпы по плотности с последующей магнитной сепарацией; выщелачивание 30%-й H_2SO_4 , с последующей экстракцией с использованием ДЭГФК и резэкстракцией раствором NaF с получением соли Na_3ScF_6 ; биосорбцию [42] (с извлечением до 60% скандия и 70% иттрия); ионный обмен; экстракцию на твердых экстрагентах (ТВЭК). Также используют введение в раствор после выщелачивания, извлечения и концентриро-

вания скандия металла-коллектора, в качестве которого используют раствор оксида алюминия или цинка в гидроксиде натрия. Образовавшийся осадок промывают, сушат и прокаливают.

В работе [43] при выщелачивании КШ использовали ионную жидкость. Показано, что этим способом можно извлечь в раствор до 70...85% РЗМ при низком (~3%) выщелачивании железа и 30%-м до извлечения алюминия. Ионную жидкость при этом можно регенерировать и возвращать на выщелачивание КШ.

В работе [44] представлен подробный обзор пирометаллургических технологий переработки КШ. Представляют интерес данные, полученные при восстановительной плавке (температура 1300...1400 °С, восстановитель – графит) КШ уральских алюминиевых заводов [15]. В результате плавки РЗМ (Ce, La, Sc, Sm, Yb, Eu, Lu), а также торий переходят в шлак. После извлечения из шлака Al_2O_3 достигается 5...15-кратная степень обогащения по РЗМ и торию, концентрация РЗМ в конечном продукте повышается до 6,0...6,5 кг/т.

Согласно данным работы [45], фторид скандия успешно (на 92,7%) осаждается при введении в раствор избытка (~130%) криолита Na_3AlF_6 или AlF_3 . При 300%-м избытке осадителя достигается 99,6%-е осаждение скандия. Дальнейшее концентрирование основано на резко отличительной растворимости фторидов скандия, других РЗМ и тория в растворе фторида аммония. При соответствующей обработке скандий переходит в раствор в виде комплекса $\text{H}_3[\text{ScF}_6]$, а фториды других РЗМ, урана и тория остаются в осадке. Для бедных растворов в качестве осадителя рекомендованы фториды натрия и калия, HF и H_2SiF_6 , щавелевая кислота, пирофосфат натрия.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного анализа установлено:

1. КШ характеризуются повышенной радиоактивностью, унаследованной от бокситов и обусловленной присутствием главным образом тория и в меньшей степени урана. Так как радиоактивные элементы в процессе Байера практически полностью переходят в КШ, их концентрация в КШ выше, чем в исходном боксите.

2. Огромные накопления КШ по всему миру требуют создания и внедрения промышленной технологии их переработки. Повышенное внимание при хранении и переработке КШ следует уделять обеспечению радиационной безопасности.

3. Физические методы извлечения радиоактивных металлов из КШ не эффективны.

4. Извлечение металлов из КШ в большинстве случаев основано на использовании гидрометаллургических и в меньшей степени пирометаллургических процессов.

5. Перспективными являются комплексные технологии переработки КШ, позволяющие в одном технологическом процессе извлекать редкие, редкоземельные (главным образом скандий) и радиоактивные металлы, а полученный остаток использовать как строительный материал.

6. Следует отметить, что описанные в работе

технологии пока не обрели надлежащего экономического обоснования. Большинству из них свойственны факторы, тормозящие их внедрение, среди которых не только экономические, но и экологические.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Состояние, проблемы и направления использования в народном хозяйстве красного шлама*: Сб. научн. докладов. Николаев, 1998, 91 с.
2. *Совершенствование технологии производства глинозема. Комплексная переработка бокситов. Попутные технологии*: Сб. научн. докладов. Николаев, 2000, 177 с.
3. *Металлургия легких металлов на рубеже веков. Современное состояние и стратегия развития*: Тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2001.
4. А.И. Иванов, Г.Н. Кожевников, Ф.Г. Ситдинов, Л.П. Иванова. *Комплексная переработка бокситов*. Екатеринбург: УрО РАН, 2003, 180 с.
5. А.И. Иванов, Р.И. Кириченко, Г.Н. Кожевников, А.А. Полещук. *Бокситы – комплексное сырье*. Запорожье, 2005, 220 с.
6. Г.А. Колобов. *Вторичные редкие металлы (тугоплавкие, редкоземельные, радиоактивные)*: Монография. Запорожье: ЗГИА, 2016, 244 с.
7. Г.А. Колобов, А.Г. Кириченко, Н.В. Личко-ненко, В.В. Павлов, В.О. Панова. Вторичное сырье радиоактивных металлов // *Вопросы атомной науки и техники*. 2019, №5(123), с. 130-134.
8. В.А. Теняков, В.А. Копейкин. Торий в бокситах: распространение, причины попадания, генетическая интерпретация // *Бокситы*. М., 1980, с. 199-213.
9. Г.И. Бушинский. *Геология бокситов*. М.: «Недра», 1975, 416 с.
10. V. Cuccia, A.H. de Oliveira, Z. Rocha. Distribution of radionuclides in Bayer process // *International Nuclear Atlantic Conference*. Santos, SP, Brazil, September 30 to October 5, 2007.
11. N. Ibrahim, T. Abd El Maksoud, B. El Ezaby, A. Nada, H. Abu Zeid. Natural radioactivity in Egyptian and industrially used Australian bauxites and its tailing red mud // *INIS*, 2004.
12. S. Alashrah, A. El-Taher. Assessing exposure hazards and metal analysis resulting from bauxite samples collected from a Saudi Arabian Mine // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018, v. 27, N 3, p. 959-966.
13. А.И. Лаубенбах и др. Уран, торий и калий в бокситах и возможности их использования для оценки перспектив бокситоносности // *Радиоактивные элементы в горных породах*. Новосибирск, 1972, ч. 1, с. 64-65.
14. M.O. Miller, D.A. Miller. The technological enhancement of normally occurring radioactive materials in red mud due to the production of alumina // *Int. Journal of Spectroscopy*. 2016, p. 458-460.
15. Ю.Н. Логинов, С.П. Буркин, И.В. Логинова, А.А. Щипанов. Восстановительная плавка красных шламов глиноземного производства // *Сталь*. 1998, №8, с. 74-77.
16. D.I. Smirnov, T.V. Molchanova. The investigation of sulphuric acid sorption recovery of scandium and uranium from the red mud of alumina production // *Hydrometallurgy*. 1997, N 45, p. 249-259.
17. A.G. Kirichenko, Y.P. Nasekan, N.F. Kolesnik. Effect of sulfur compounds on the decomposition of carbon monoxide on red mud // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2012, v. 53, N 5, p. 375-379.
18. H. Gu, N. Wang, Y. Yang, Ch. Zhao, Sh. Cui. Features of distribution of uranium and thorium in red mud // *Physicochem. Probl. Miner. Process*. 2017, N 53(1), p. 110-120.
19. J. Somlai, V. Jobbagy, J. Kovacs, S. Tarjan, T. Kovacs. Radiological aspects of the usability of red mud as building material additive // *J. Hazardous Materials*. 2008, N 150, p. 541-545.
20. H. Gu, N. Wang, S. Liu. Radiological restrictions of using red mud as building material additive // *Waste Management & Research*. 2012, v. 30(9), p. 961-965.
21. X. Wang, J. Ma, L. Zhang, J. Yang. Radioactive element distribution characteristics of red mud based field road cement before and after hydration // *Journal of Wuhan University of Technology. Materials Science Edition*. 2018, v. 33, issue 2, p. 452-458.
22. I.V. Boskovic, S.S. Nenadovic, L.M. Kljajevic, et al. Radiological and physicochemical properties of red mud based geopolymers // *Nuclear Technology and Radiation Protection*. 2018, v. 33, N 2, p. 188-194.
23. Sh. Qin, B. Wu. Reducing the radiation dose of red mud to environmentally acceptable levels as an example of novel ceramic materials // *Green Chemistry*. 2011, issue 9, p. 2423-2427.
24. Y.-C. Huang, N. Wang, J. Wan, J. Lin. Comprehensive utilization of red mud and control techniques of radioactive issues // *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*. 2009, v. 28(2), p. 128-130.
25. Ю.А. Лайнер, В.А. Резниченко, А.С. Тужилин и др. Физико-химические и технологические основы ресурсосберегающих и экологически чистых технологий комплексной переработки алюминийсодержащего сырья // *Технология металлов*. 2007, №6, с. 2-12.
26. K.J. Summers, B.H. O'Connor, D.R. Fox. Radiological consequences of amending soils with bauxite residue/gypsum mixtures // *Australian Journal of Soil Research*. 1993, v. 31, N 4, p. 533-538.
27. S. Landsberger, A. Sharp, S. Wang, Y. Pontikes, A.H. Tkaczyk. Characterization of bauxite residue (red mud) for ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K using neutron activation analysis and the radiation dose levels as modeled by MCNP // *J. Environ. Radioactiv.* 2017, v. 173, p. 97-101.
28. C. Sato, S. Kazama, A. Sakamoto, K. Hirayanagi. Behavior of Radioactive Elements (Uranium and Thorium) in Bayer Process // *Essential Readings in Light Metals: V.1. Alumina and Bauxite*. 2013, p. 191-197.
29. Ch.R. Borra, B. Blanpain, Y. Pontikes, K. Binemans, T. Van Gerven. Recovery of Rare Earths and Other Valuable Metals From Bauxite Residue (red mud): A Review // *Journal of Sustainable Metallurgy*. 2016, v. 2, p. 365-386.
30. Ю.П. Кудрявский. Извлечение тория при

комплексной переработке скандийсодержащих отходов производства // Бюл. «Цветная металлургия». 1995, №7-8, с. 30-33.

31. Л.И. Водолазов, Т.В. Молчанова, В.А. Молчанов. Новые способы и новая технология сернокислотного обезвреживания и переработки красных шламов – отходов производства глинозема в строительные материалы и коагулянты с попутным получением чистых солей скандия, редких земель и гидроокиси алюминия // Горный информ.-аналит. бюл. «МГТУ». 1995, №2.

32. Д.И. Смирнов, Т.В. Молчанова, Л.И. Водолазов. Попутные компоненты бокситов и пути их утилизации // Бюл. «Цветная металлургия». 1999, №4, с. 31-34.

33. K. Binnemans, P.T. Jones, B. Blanpain, T. Van Gerven, Y. Pontikes. Towards zero-waste valorisation of rare-earth-containing industrial process residues: a critical review // J. Clean. Prod. 2015, v. 99, p. 17-38.

34. О.А. Конык, Т.И. Кожемякина, И.В. Швецова. Извлечение редких и редкоземельных металлов при переработке красных шламов бокситов Среднего Тимана: Научные доклады Коми научного центра УрО АН СССР, 1981, в. 260, 24 с.

35. А.с. СССР №171499. Способ получения скандийсодержащего концентрата из красных шламов глиноземного производства / В.С. Анашкин, Н.А. Калужский, В.Н. Диев, С.П. Яценко и др. Опубл. 19.12.1989. Бюл. №24.

36. Ю.П. Кудрявский. Сорбционное концентрирование тория из растворов при комплексной переработке и дезактивации скандийсодержащего технологического сырья // Известия вузов. Цветная металлургия. 2011, №6, с. 30-35.

37. Г.А. Колобов. Редкие металлы в глиноземной промышленности // Рідкісні метали України – погляд у майбутнє: Тези доповіді. Київ: Ун-т геол.

наук НАН України, 2001, с. 61-62.

38. Л.А. Пасечник, И.Н. Пягай, С.П. Яценко. Карбонизационная технология извлечения скандия из шлама глиноземного производства // Цветная металлургия. 2009, №1, с. 42-46.

39. Л.Н. Комиссарова. Неорганическая и аналитическая химия скандия. М.: «Эдиториал», 2001, 512 с.

40. И.Н. Пягай, С.П. Яценко, В.М. Скачков. Опытнo-промышленное производство для извлечения скандия из шлама глиноземного производства // Цветные металлы. 2011, №12, с. 75-79.

41. И.Н. Пягай, В.Л. Кожевников, Л.А. Пасечник, В.М. Скачков. Переработка отвального шлама глиноземного производства с извлечением скандиевого концентрата // Записки Горного ин-та. 2016, т. 218, с. 225-232.

42. Y. Qu, B. Lian. Bioleaching of rare earth and radioactive elements from red mud using *Penicillium tricolor* RM-10 // Bioresour. Technol. 2013, v. 136, p. 16-23.

43. P. Davris, E. Balomenos, D. Panias, I. Paspliaris. Leaching of rare earths from bauxite residues using imidazolium based ionic liquids // 1st Eur. Rare Earth Resour. Conf. (ERES 2014), Milos (Greece), 4–7 Sept. 2014, p. 241-252.

44. Д.В. Зиновеев, П.И. Грудинский, В.Г. Дюбанов, Л.В. Коваленко, Л.И. Леонтьев. Обзор мировой практики переработки красных шламов. Ч 1. Пирометаллургические способы // Известия вузов. Черная металлургия. 2018, т. 61, №11, с. 843-858.

45. Г.М. Курдюмов, А.В. Куликова, В.С. Цесарский и др. Физико-химические исследования получения скандийсодержащего материала для изготовления лигатур: Отчет о НИР №20077. М.: ВНИИЦ, 1992.

Статья поступила в редакцию 27.05.2020 г.

РАДІОАКТИВНІ МЕТАЛИ В ЧЕРВОНИХ ШЛАМАХ

Г.О. Колобов, О.Г. Кириченко, О.С. Воденнікова, В.О. Панова

Проаналізовано радіоактивність матеріалів глиноземного виробництва. Приведено основні відомості про вміст радіоактивних металів у бокситах та червоному шламі (ЧШ). Розглянуто технології радіоактивних металів з ЧШ.

RADIOACTIVE METALS IN RED MUD

G.A. Kolobov, A.G. Kirichenko, O.S. Vodennikova, V.O. Panova

The radioactivity of alumina production materials was analyzed. The main information on the content of radioactive metals in bauxite and red mud is presented. Technologies for the extraction of radioactive metals from red mud are considered.