

3. Natriya gipohlorit // Himicheskaya enciklopediya : v 5 t. ; gl. red. I. L. Knunyanc. – M.: Sov. encikl., 1992. – Т. 3. – С. 355.

4. Hlornye dezinfektanty i ih primenenie v sovremennoj vodopodgotovke / A. B. Shvecov [et al.] // Molekulyarnye tekhnologii. – 2009. – № 3. – С. 98–121.

5. Furman, L. A. Gipohlorit natriya / L. A. Furman // Hlorsoderzhashchie okislitel'no-otbelivayushchie i dezinficiruyushchie veshchestva. – M. : Himiya, 1976. – Gl. 3. – С. 48–57.

6. Ronco, C. Disinfection by Sodium Hypochlorite: Dialysis Applications / C. Ronco, G. J. Mishkin // Contributions to nephrology. – 2007. – Vol. 154. – 157 p.

УДК 669.712:669.054.83

Г. А. Вардан¹, Р. Н. Барсегян², Г. А. Мартоян³

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СКАНДИЯ ИЗ КРАСНОГО ШЛАМА

¹*НПО «Экоатом», Ереван, Республика Армения*

²*Кандидат технических наук, доцент, Инженерная академия Армении, Ереван, Республика Армения*

³*Кандидат химических наук, НПО «Экоатом», Ереван, Республика Армения*

Аннотация. Работа посвящена извлечению редкоземельных элементов из промышленного отхода – красного шлама, образуемого при производстве алюминия из бокситовых руд по методу Байера. Представлена технологическая схема извлечения компонентов и их глубокую очистку от посторонних примесей.

Ключевые слова: красный шлам, редкоземельные элементы, электромембранные методы, скандий.

G. A. Vardan¹, R. N. Barseghyan², G. A. Martoyan³

RECOVERY OF SCANDIUM FROM RED MUD

¹*NPO «Ecoatom», Yerevan, Republic of Armenia*

²*Ph. D. in Engineering Science, Associate Professor, Engineering Academy of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia*

³*Ph. D. of Chemical Science, NPO «Ecoatom», Yerevan, Republic of Armenia*

Annotation. The work is devoted to the extraction of rare-earth elements from industrial waste: red mud formed in the production of aluminium from bauxite ores by the Bayer method. The technological scheme is presented for extracting components from red mud and their deep cleaning from impurities.

Keywords: red mud, rare-earth elements, electromembrane methods, scandium.

Введение. Извлечение полезных и токсичных элементов из промышленных отходов является актуальной задачей. В процессе производства алюминия из бокситовых руд образуется большое количество отходов в виде красного шлама (КШ) [1]. Как следует из [2], уже в ближайшем будущем количество отходов в виде красного шлама приблизится к 200 млн т. Его химический состав варьирует в зависимости от состава и свойств выщелачиваемого боксита.

Как правило, красный шлам хранится в больших резервуарах или в хвостохранилищах, которые занимают огромные площади, пригодные для сельского хозяйства, загрязняя почву и грунтовые воды. Кроме того, его хранение требует соблюдения строгих мер, поскольку красный шлам является очень токсичным и агрессивным соединением.

Материалы и методы исследования. Разработано много вариантов использования красного шлама, приводящих к извлечению из них ценных металлов [3–14] и использованию других отходов в качестве строительного материала. Однако ни на одном из предприятий не было проведено комплексной переработки КШ. Основными областями применения КШ являются производство цемента, дорожное строительство, производство чугуна и т. д. При этом теряется много ценных редких металлов, а также многие токсичные вещества попадают в строительные материалы, загрязняя окружающую среду. Основной задачей исследователей является извлечение из КШ наиболее ценных металлов, например, скандия а также токсичных веществ с использованием гидрометаллургических методов.

В результате нашего исследования было обнаружено, что гипохлорит натрия является эффективным реагентом для выщелачивания РЗМ, который будучи щелочным, как и КШ, не вызывает дополнительных проблем и может быть получен непосредственно на месте использования.

В процессе переработки КШ электромембранной технологией определенные группы металлов извлекаются в виде водных растворов, после чего целевые металлы избирательно разделяются стандартными методами, такими как седиментация, сорбция и экстракция. Таким образом, комплексная разработка КШ позволит использовать все компоненты, содержащиеся в этих отходах, включая железо и алюминий, и перевести токсичные отходы в продукты, пользующиеся высоким спросом.

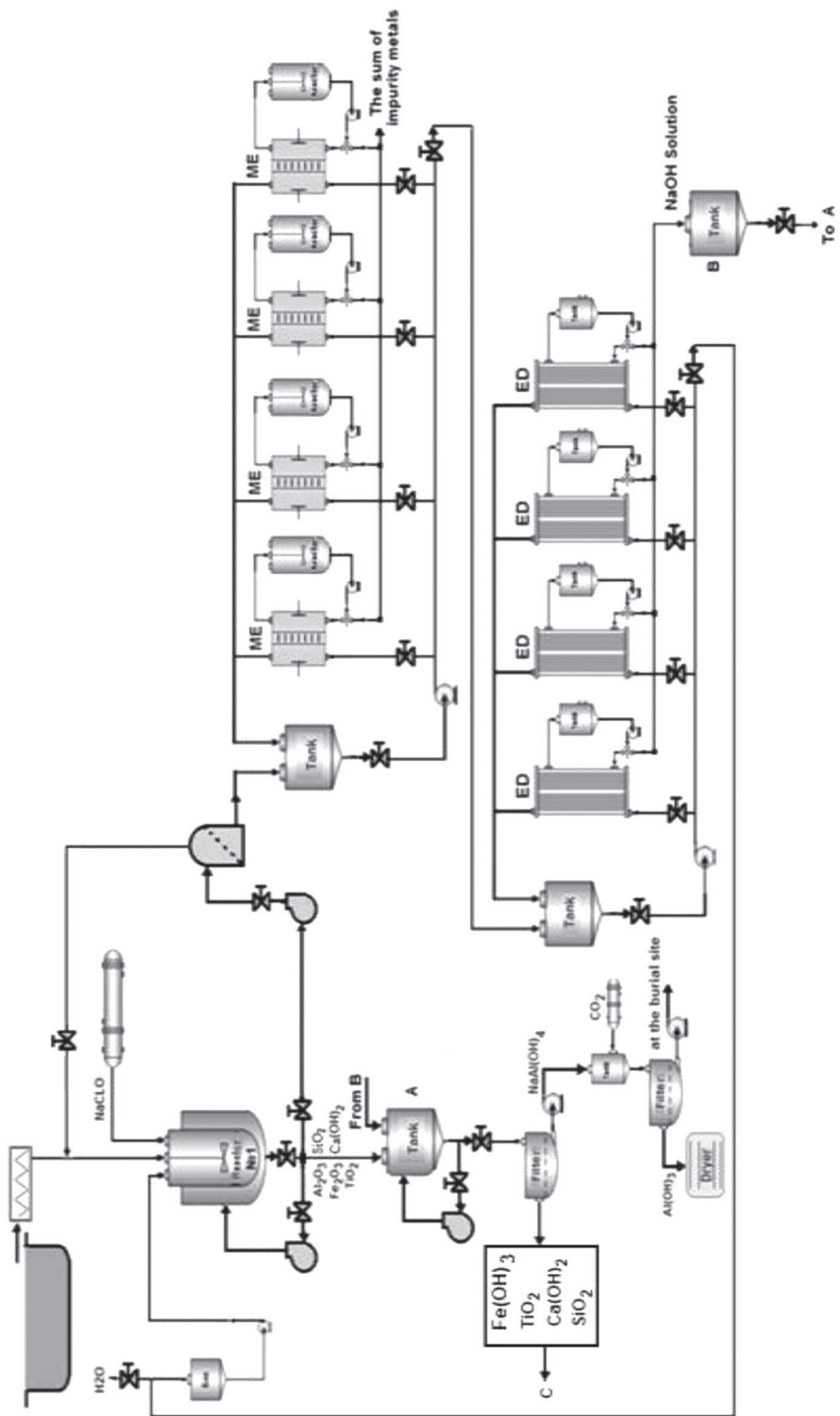
Результаты исследования и их обсуждения. Образцы красного шлама были взяты из отходов переработки глинозема по процессу Байера с завода Ирана. В табл. 1 приведен средний химический состав основных и примесных металлов, анализ состава элементов был выполнен с помощью масс-спектрометра ELAN 9000 ICP.

Таблица 1. Состав основных компонентов красного шлама

Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	S	P ₂ O ₅	Na ₂ O
44–46	8–11	8–9,5	13–18	0,2–1,6	4–5	3,6	0,2–0,65	2,5–6,5

Содержание редких и редкоземельных элементов приведено в табл. 2.

Установка для переработки КШ (см. рисунок) состояла из различных реакторов, резервуаров, насосов, электрохимических аппаратов (электролизеров и электродиализаторов). Гипохлорит натрия производился из хлорида натрия на месте с применением метода электродиализа.



Общая схема переработки красного шлама

Таблица 2. Состав примесных элементов в КШ Иранского завода

Элемент	Содержание, г/кг	Элемент	Содержание, г/кг
Sc	0,019358	Cu	0,068480
Ti	24,298205	Zn	0,235932
V	0,277970	Ge	0,005525
Cr	0,151777	Ga	0,030868
Mn	2,974695	As	0,031339
Fe	78,037918	Y	0,001937
Co	0,078870	Mo	0,002424
Ni	0,303276	Cd	0,001026

Как показано на рисунке, процесс переработки начинается с заполнения реактора с мешалкой № 1 красным шламом, а также чистой водой и расчетным количеством гипохлорита натрия. Общая схема показывает маршруты извлечения глинозема и растворимых соединений редкоземельных элементов, а также соединений железа, титана, кальция и кремния. Гипохлорит натрия готовится отдельно, в специальной установке. После мягкого выщелачивания красного шлама нерастворенные остатки (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , $Ca(OH)_2$, TiO_2 и другие соединения) транспортируются в контейнер А для дальнейшей обработки с целью получения отдельных продуктов.

Растворенная часть красного шлама, содержащая примесные элементы, включая редкоземельные, подвергается специальной активации кавитационным насосом, что является ноу-хау авторов. Затем смесь перерабатывают в системе мембранных электролизеров (верхняя часть), после чего сумма металлов накапливается в специальном баке, а остаток направляется в систему электродиализаторов (нижняя часть), где раствор NaOH разделяется в баке В и возвращается в бак А.

Доля полезных элементов в красном шламе значительно уменьшается после переработки, что означает, что большинство из них переходит в раствор, например, содержание скандия в КШ уменьшается почти в 150 раз.

Последующее разделение этих элементов на отдельные чистые металлы осуществляется с использованием стандартных методов, упомянутых выше, а также с помощью технологии электро-мембранных методов, а глубина очистки обеспечивается мембранным электролизом путем предварительного преобразования металлов в нерастворимые соли.

Следует отметить, что аналогичные результаты были получены после переработки КШ из уральского завода.

Заключение. Разработан новый метод переработки КШ из отходов производства алюминия с извлечением ценных металлов и соединений, а также создана и апробирована экспериментальная установка, для осуществления предложенной технологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ritters, S. K. Making the most of red mud / S. K. Ritters // *Chemical and Engineering News*. – 2014. – Vol. 92, № 8. – P. 33.
2. All about aluminum [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.aluminiumleader.com/economics/how_aluminium_market_works. – Date of access : 18.04.2022.
3. Pontikes, Y. Bauxite residue in Cement and cementitious applications: Current state and possible way forward / Y. Pontikes, G. N. Angelopoulos // *Resources, conservation and recycling*. – 2013. – Vol. 73. – P. 53–63.
4. Biswas, W. K. Sustainability Assessment of Red Sand™ as a sub-stitute for Virgin Sand and Crushed Limestone / W. K. Biswas, D. J. Cooling // *Journal of Industrial Ecology*. – 2013. – Vol. 17, iss. 5. – P. 756–762.
5. Schmitz, C. Red Mud Disposal / C. Schmitz // *Handbook of aluminium recycling*. – Munich : Vulkan-Verlag GmbH, 2006. – P. 18–39.
6. Liu, W. Review on treatment and utilization of bauxite residues in China / W. Liu, J. Yang, B. Xiao // *International Journal of Mineral Processing*. – 2009. – Vol. 93. – P. 220–231.
7. Yadav, H. Study of Red Mud as an Alternative Building Material for Interlock-ing Block Manufacturing in Construction Industry / H. Yadav, A. Gard // *International Journal of Materials Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 3, iss. 4. – P. 295–300.
8. Martoyan, G. A. New technology of extracting the amount of rare earth metals from the red mud / G. A. Martoyan, G. G. Karamyan, G. A. Vardan // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2016. – Vol. 112, iss. 1. – P. 1–5.
9. Smith, P. Waste treatment: Aluminium future out of mud / P. Smith // *Resourceful*. – 2015. – Iss. 7. – P. 6.
10. Способ пирометаллургической переработки красных шламов : пат. WO 2013070121 A1 / А. А. Голубев, Ю. А. Гудим. – 16.05.2013.
11. Организация производства РЗМ при комплексной переработке фосфогипса. Актуальные вопросы / А. М. Абрамов [и др.] // *Актуальные вопросы добычи, производства и применения редкоземельных элементов в России. РЗМ-2013 : материалы Всерос. конф. по редкоземельным материалам, Томск, 20–21 нояб. 2013 г. / Нац. исслед. ядерный ун-т МИФИ. – Томск, 2013.*
12. Интернет-портал STRF [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=88685#.VgJYtX3CaKI. – Дата доступа : 24.01.2021.
13. The extraction of heavy metals by means of a new electrolytic method / Z. G. Guiragossian [et al.] // *WM'04 Conference*. – Tucson, 2004. – P. 4304.
14. Корнеев, В. И. Красные шламы – свойства, складирование, применение / В. И. Корнеев, А. Г. Суус, А. И. Цеховой. – М. : Металлургия, 1991. – 144 с.

References

1. Ritters, S. K. Making the most of red mud / S. K. Ritters // *Chemical and Engineering News*. – 2014. – Vol. 92, № 8. – P. 33.
2. All about aluminum [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.aluminiumleader.com/economics/how_aluminium_market_works. – Date of access : 18.04.2022.
3. Pontikes, Y. Bauxite residue in Cement and cementitious applications: Current state and possible way forward / Y. Pontikes, G. N. Angelopoulos // *Resources, conservation and recycling*. – 2013. – Vol. 73. – P. 53–63.
4. Biswas, W. K. Sustainability Assessment of Red Sand™ as a sub-stitute for Virgin Sand and Crushed Limestone / W. K. Biswas, D. J. Cooling // *Journal of Industrial Ecology*. – 2013. – Vol. 17, iss. 5. – P. 756–762.
5. Schmitz, C. Red Mud Disposal / C. Schmitz // *Handbook of aluminium recycling*. – Munich : Vulkan-Verlag GmbH, 2006. – R. 18–39.

6. Liu, W. Review on treatment and utilization of bauxite residues in China / W. Liu, J. Yang, B. Xiao // International Journal of Mineral Processing. – 2009. – Vol. 93. – P. 220–231.
7. Yadav, N. Study of Red Mud as an Alternative Building Material for Interlock-ing Block Manufacturing in Construction Industry / N. Yadav, A. Gard // International Journal of Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 3, iss. 4. – P. 295–300.
8. Martoyan, G. A. New technology of extracting the amount of rare earth metals from the red mud / G. A. Martoyan, G. G. Karamyan, G. A. Vardan // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016, – Vol. 112, iss. 1. – P. 1–5.
9. Smith, P. Waste treatment: Aluminium future out of mud / P. Smith // Resourceful. – 2015. – Iss. 7. – P. 6.
10. Sposob pirometallurgicheskoy pererabotki krasnyh shlamov : pat. WO 2013070121 A1 / A. A. Golubev, Yu. A. Gudim. – 16.05.2013.
11. Organizaciya proizvodstva RZM pri kompleksnoj pererabotke fosfogipsa. Aktual'nye voprosy / A. M. Abramov [et al.] // Aktual'nye voprosy dobychi, proizvodstva i primeneniya redkozemel'nyh elementov v Rossii. RZM-2013 : materialy Vseross. konf. po redkozemel'nym materialam, Tomsk, 20–21 noyab. 2013 g. / Nac. issled. yadernyj un-t MIFI. – Tomsk, 2013.
12. Internet-portal STRF [Electronic resource]. – Mode of access : http://strf.ru/material.aspx?CatalogId=222&d_no=88685#VgJYtX3CaKI. – Date of access : 24.01.2021.
13. The extraction of heavy metals by means of a new electrolytic method / Z. G. Guiragossian [et al.] // WM'04 Conference. – Tucson, 2004. – P. 4304.
14. Korneev, V. I. Krasnye shlamy - svojstva, skladirovanie, primenenie / V. I. Korneev, A. G. Suss, A. I. Cekhovej. – M. : Metallurgiya, 1991. – 144 s.

УДК 662.997÷ 621.47

Ф. Ш. Касимов¹, Ш. К. Ниязов²

**МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДНЕВНОГО КОЛИЧЕСТВА НАКОПЛЕННОГО
В ЕМКОПРИЕМНИКЕ ПОЛЕЗНОГО ТЕПЛА
ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ
КОЛЛЕКТОРОВ**

*¹Доктор философии по техническим наукам, Физико-технический институт
Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Республика Узбекистан*

*²Кандидат технических наук, доцент, Гулистанский государственный университет,
Ташкент, Республика Узбекистан*

Аннотация. В статье представлена методика обработки результатов экспериментальных исследований дневного количества накопленного в емком приемнике полезного тепла плоских солнечных водонагревательных коллекторов с донным поглощением солнечного излучения и теплоизолированными плоскими основаниями.

Ключевые слова: емкий приемник, донное поглощение солнечного излучения, теплоизолированное плоское основание, местные строительные материалы, сезонные системы горячего водоснабжения.