

ОТХОДЫ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СОСТАВ, НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В. С. Глухов^{1,2}, А. Б. Макаров¹, Г. Г. Хасанова¹

¹ Уральский государственный
горный университет (г. Екатеринбург, Россия)

² Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого
УрО РАН (г. Екатеринбург, Россия)

*В экономике будущего значительное место уделяться переработке разнообразных отходов промышленных производств, среди которых в пределах Уральского региона наиболее значительный объем занимают техногенные образования горнодобывающей промышленности и производства металлов. Одной из ведущих отраслей промышленности в пределах региона является алюминиевая. Цель работы – дать характеристику вещественного состава техногенных образований алюминиевой промышленности и показать основные направления переработки. **Методика исследований.** Выполнен анализ имеющихся данных по вещественному составу исходного минерального сырья – бокситов и техногенно-минеральных образований – отходов алюминиевой промышленности. Для изучения красных шламов применялись современные аналитические методы: рентгенофазовый анализ на приборе SHIMADZU XRD-7000, энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия на приборе X-MAX, исследования морфологии частиц на электронном микроскопе PHILIPS XL-30 и рентгенофлуоресцентный анализ на приборе Hitachi X-MET 8000. **Результаты работы.** Изучен вещественный состав (химический и минеральный, а также элементы-примеси) техногенно-минеральных образований, показана их специализация на редкие металлы. Рассмотрены возможные технологии их переработки как комплексного минерального сырья. **Выводы.** Благодаря полученным результатам изучения вещественного состава удалось уточнить как морфологию частиц, так и концентрации ряда элементов примесей, которые позволят скорректировать предлагаемые технологии их переработки.*

Ключевые слова: алюминий; шлаки; красные шламы; переработка шламов; техногенные месторождения; алюмошлаки; Богословский алюминиевый завод (БАЗ); Уральский алюминиевый завод (УАЗ); Североуральский бокситовый рудник (СУБР).

1. Введение

В последние десятилетия большое внимание уделяется исследованию и освоению техногенно-минеральных ресурсов, накопившихся за долгие годы из разнообразных отходов промышленного производства. Скопления техногенно-минеральных месторождений, образованные в результате производственных процессов, преимущественно связаны с добычей и переработкой минерального сырья [8, 10, 11].

Освоение подобных объектов преследует две цели: во-первых, улучшить состояние современной минерально-сырьевой базы, во-вторых, улучшить экологиче-

скую ситуацию промышленных узлов и районов, что определяет необходимость проведения геологических исследований, направленных прежде всего на изучение вещественного состава техногенно-минеральных образований. Наиболее сложными среди отходов алюминиевого производства являются красные шламы, которые образуются в результате переработки бокситов и по существующей классификации техногенных месторождений [8] относятся к классу месторождений химических производств.

В данной работе на примере Уральского региона, являющегося главной сырьевой базой алюминиевой промышленности России, рассмотрены особенности вещественного состава техногенно-минеральных образований алюминиевой отрасли промышленности, сформированных при добыче бокситов, а также при переработке последних.

2. Методика

При изучении отходов алюминиевой промышленности использован научный анализ имеющихся источников и результатов аналогичных исследований научных организаций и производственный опыт в части их переработки.

Для исследования вещественного состава наиболее дисперсных отходов химического производства красных шламов применялись следующие методы: рентгенофазовый анализ для изучения минерального состава на приборе SHIMADZU XRD-7000 в ИГГ им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук; энергодисперсионная рентгеновская спектрометрия на приборе X-MAX и работа с электронным микроскопом PHILIPS XL-30 для изучения химического состава и морфологии частиц в Казанском федеральном университете (КФУ); рентгенофлуоресцентный анализ для изучения элементов-примесей и их содержания на приборе Hitachi X-MET 8000 в Уральском государственном горном университете (УГГУ) на кафедре геологии поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Данный комплекс методов позволил достаточно детально охарактеризовать минеральный и химический состав красных шламов для разработки на этой основе технологий их использования.

3. Характеристика отходов алюминиевого производства

Главной сырьевой базой алюминиевой промышленности в Уральском регионе для Богословского и Уральского алюминиевых заводов являются месторождения Североуральского бокситового района [2, 4, 18]. Отходы добычи и переработки бокситов представлены отвалами вскрышных и вмещающих пород, шлаками металлургического производства (красные шламы) и отходами переработки вторичного алюминиевого сырья.

Техногенно-минеральные образования горнодобывающего производства алюминиевой промышленности, согласно кадастровому учету [12, 13, 19], представлены отвалами вмещающих пород вблизи шахт, сформированными в результате добычи бокситов на месторождениях Североуральского («Красная шапочка», Калининское, Ново-Калинское) и Южноуральского бокситоносных районов и шахтами АО «Севбокситруда».



Рис. 1. Шахты СУБРа [20]

Вмещающие породы представлены в основном светло- и темно-серыми известняками (85–95 %), в незначительном количестве бокситами (5–10 %) [12]. Во вмещающих отвалах находится 320,5 тыс. м³ пород, которые используются для рекультивации, возведения дамб, подсыпки и автомобильных и железных дорог.

Шахтная порода представлена также известняками, содержит от 5 до 25 % боксита, преимущественно в виде красной марки разновидности. Операция прямого грохочения позволяет выделить из нее более 45 % класса крупности менее 10 мм с содержанием Al₂O₃ около 27 %, который состоит на 50–55 % из боксита и на 45–50 % из известняка, и может быть направлена на переработку на глинозем.

Красные шламы. В результате переработки бокситов образуются отходы – красные шламы – смесь шламов гидрохимии и спекания бокситов, которые в виде пульпы направляются на шламовые поля. В двух шламохранилищах Богословского алюминиевого завода накоплено 58,9 млн т, в трех – Уральского алюминиевого завода – 45,1 млн т красных шламов [13, 17].

Минеральный состав определили способом рентгенофазового анализа на приборе SHIMADZU XRD-7000 в Институте геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого (УрО РАН). Данные по минеральному составу приведены в табл. 1.

Таблица 1. Минеральный состав красных шламов

Минерал	Проба 1	Проба 2
	Содержание, %	
1	2	3
Гематит	46	56
Кальцит	12	9

Окончание табл. 1

1	2	3
Кроншtedтит	5	3
Диаспор	14	15
Термонатрит	16	14
Рутил	4	1
Кварц	3	2

В результате проведенных исследований определены: гематит (51 %), термонатрит (15 %), диаспор (14,5 %), кальцит (10,5 %), кроншtedтит (4 %), рутил (2,5 %), кварц (2,5 %). Указан средний процент по пробам.

Характерным для красных шламов является гематит. На снимках, сделанных на электронном микроскопе PHILIPS XL-30 в КФУ, частицы гематита рыхлые, имеют неправильную форму и размерность от 25–600 мкм. Морфология частиц минералов является характерной для красных шламов, а высокое содержание гематита обусловлено высокими концентрациями Fe_2O_3 и FeO в химическом составе. Морфология частиц гематита приведена на рис. 2.

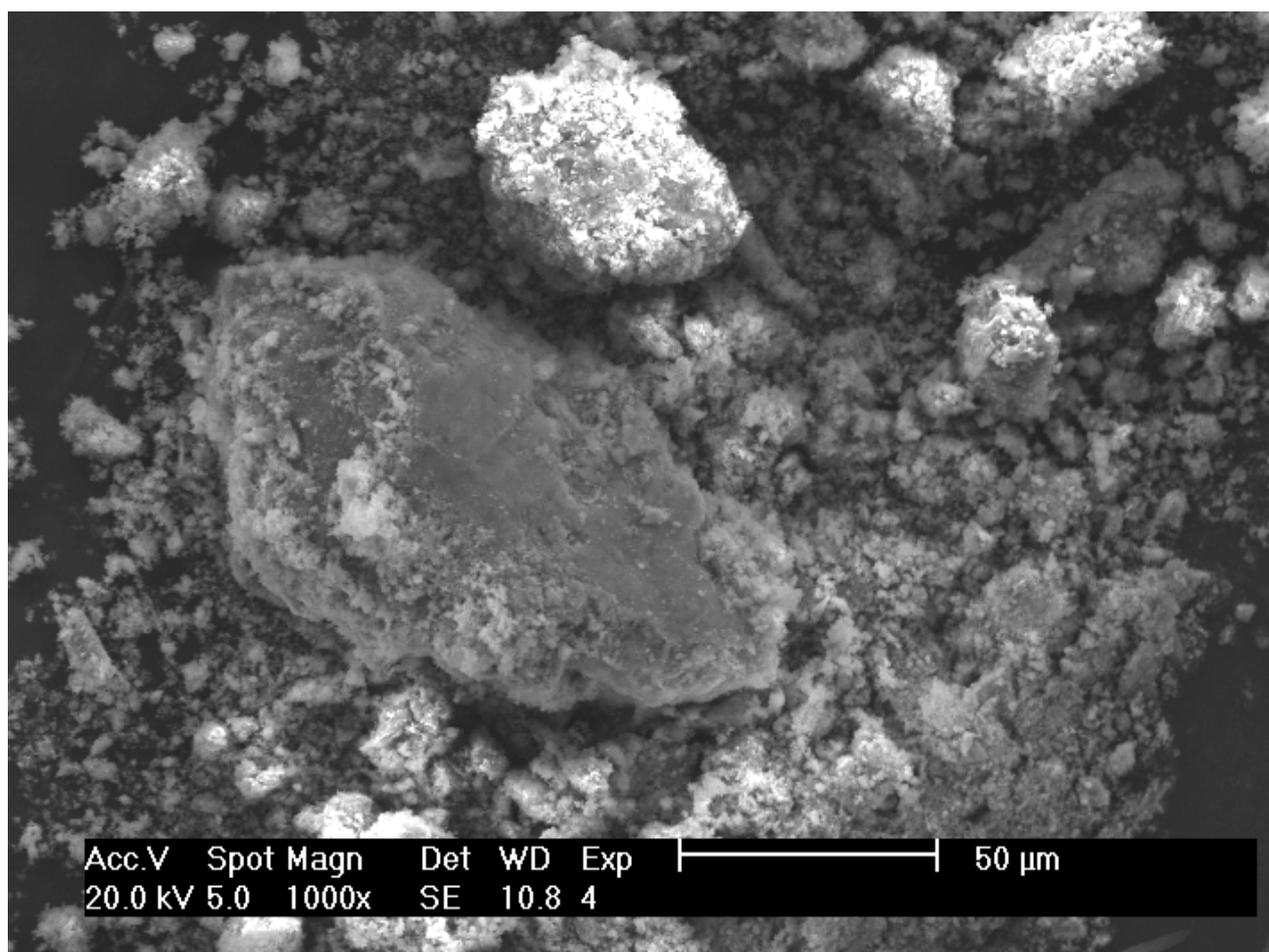


Рис. 2. Снимок частиц гематита, сделанный электронным микроскопом PHILIPS XL-30

Определение химического состава произведено способом энергодисперсионной рентгеновской спектрометрии на приборе X-MAX и с помощью электронного

микроскопа PHILIPS XL-30 в Казанском федеральном университете. Частицы минералов и сектора замеров приведены на рис. 3.

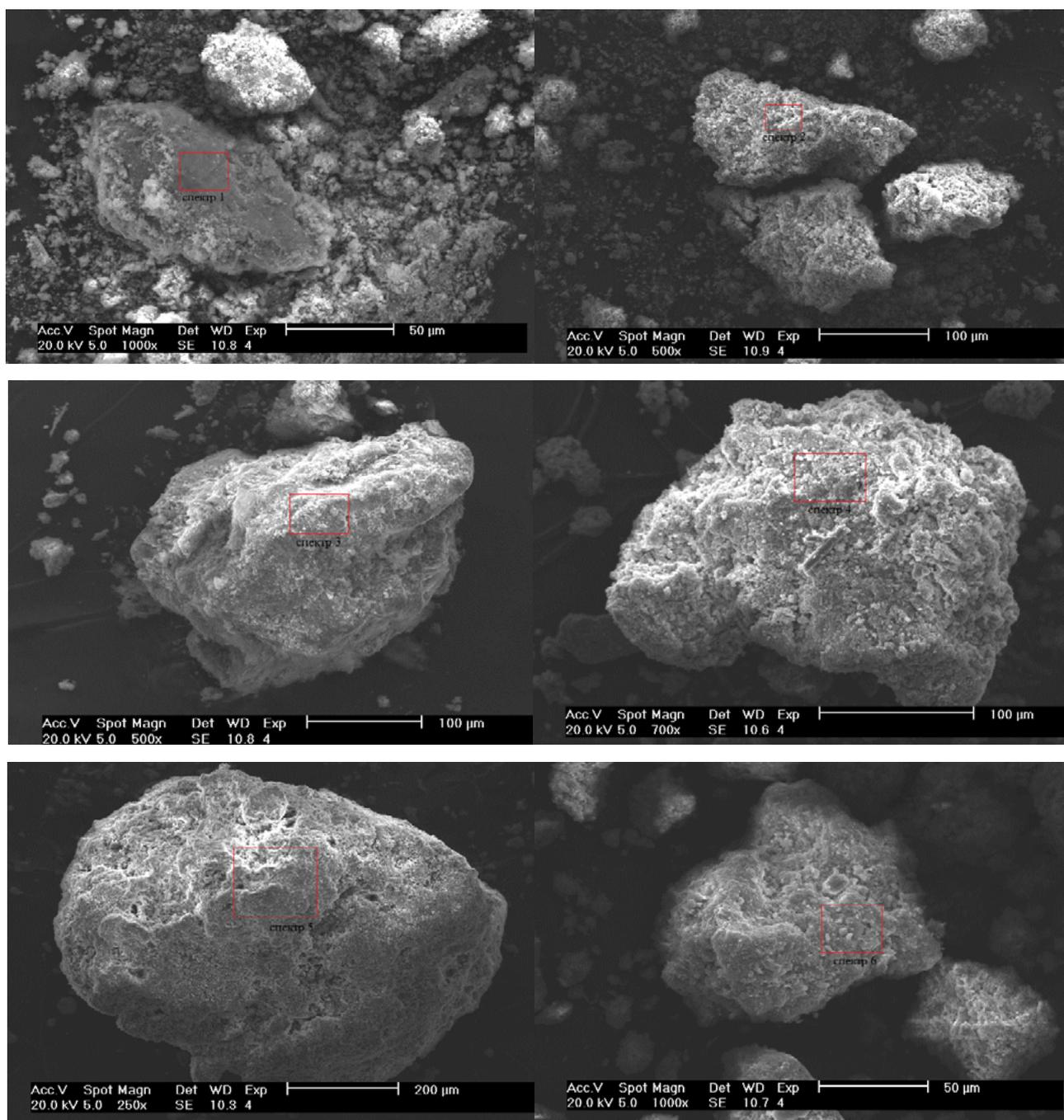


Рис. 3. Частицы гематита и секторы спектров для исследования химического состава

В результате проведенных исследований был получен следующий химический состав (табл. 2).

Таблица 2. Средний химический состав красных шламов и бокситов СУБРа

Оксиды	Среднее содержание, %			
	Красные шламы	Красные шламы, по [9]	Красные шламы УАЗа, по [7]	Бокситы СУБРа [18]
Fe ₂ O ₃	30,17	32,34	34,18	23,35
FeO	15,54	3,14	5,4	–
Al ₂ O ₃	14,61	33,47	12,17	57,84
CaO	14,16	0,26	34,18	0,55
SiO ₂	8,59	9,71	7,87	2,4
Na ₂ O	5,83	–	2,68	–
TiO ₂	3,33	2,79	3,27	–
MgO	2,44	1,09	1,4	–
CuO	1,75	–	–	–
SO ₂	1,35	2,35	1,66	0,7
MnO	0,73	0,26	0,41	–
P ₂ O ₅	0,68	0,93	0,81	–
MoO ₃	0,37	–	–	–

Таблица 3. Химический состав красных шламов БАЗа

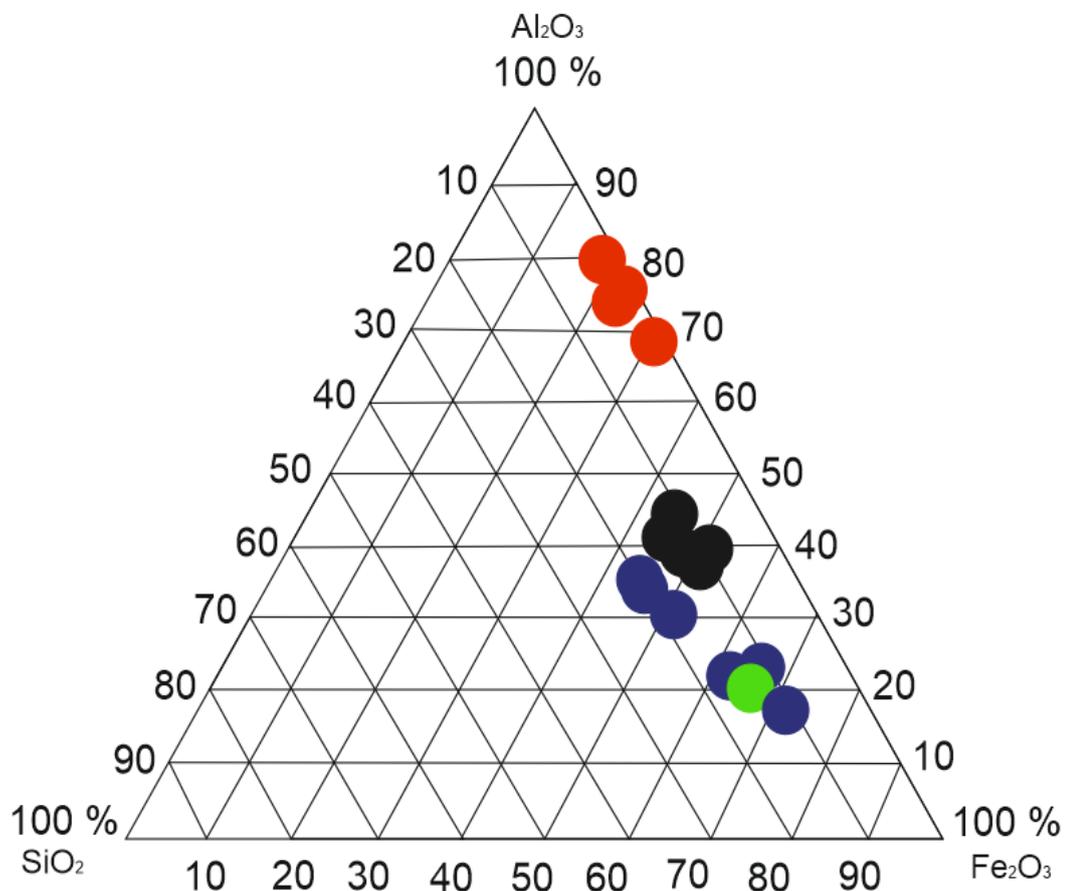
Оксид	Содержание химических элементов, масс. %								
	Проба №						min	max	CA*
	1	2	3	4	5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe ₂ O ₃	20,70	38,09	26,91	40,41	26,68	28,26	20,7	40,1	30,17
CaO	19,38	7,40	6,73	7,51	31,57	12,36	6,73	31,6	14,16
FeO	10,66	19,62	13,86	20,82	13,74	14,56	10,7	20,8	15,54
Al ₂ O ₃	15,55	12,61	22,84	10,53	9,12	17,01	9,12	22,8	14,61
SiO ₂	9,92	5,51	12,29	6,15	7,55	10,14	5,51	12,3	8,59
Na ₂ O	7,78	4,56	6,87	4,46	3,20	8,13	3,20	8,13	5,83
MgO	7,48	1,09	2,20	1,01	1,06	1,77	1,01	7,48	2,44
TiO ₂	2,49	4,39	2,01	4,38	3,36	3,37	2,01	4,39	3,33
SO ₂	1,25	0,00	3,65	0,94	1,04	1,20	0,00	3,65	1,35
CuO	1,55	2,61	2,10	1,62	1,10	1,52	1,10	2,61	1,75
MoO ₃	0,00	2,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,22	0,37

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MnO	1,85	0,93	0,00	0,80	0,00	0,79	0,00	1,85	0,73
P ₂ O ₅	0,91	0,47	0,00	0,86	0,96	0,89	0,00	0,96	0,68
K ₂ O	0,49	0,51	0,54	0,51	0,61	0,00	0,00	0,61	0,44
Сумм	100	100	100	100	100	100			100,00

*СА – среднее арифметическое.

Для сравнения химического состава красных шламов по содержанию глинозема, железа и кремнезема с перерабатываемыми бокситами была построена диаграмма Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂ (рис. 4).



Условные обозначения:

- Красные шламы
- Бокситы СУБРа, по [18]
- Красные шламы, по [9]
- Красные шламы УАЗ, по [7]

Рис. 4. Диаграмма Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂

На диаграмме видно, что бокситы обладают более высокими концентрациями по глинозему, кремнезему, чем красные шламы, а те, в свою очередь, более высокими по железу.

Можно сделать вывод, что состав шламов определяется исходным сырьем, а более высокое содержание железа обусловлено изменениями концентрации хими-

ческих элементов и их соотношения после переработки бокситов и извлечения из них глинозема.

Определение элементов-примесей проведено способом РФА на приборе Hitachi X-MET 8000 в УГГУ на кафедре геологии поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Данные приведены в табл. 4.

Таблица 4. Кларки элементов-примесей в красных шламах БАЗа, бокситов и концентрации в земной коре

	Элементы примеси							
	Содержание элементов, г/т							
	V	Cr	Ni	As	Zr	Mo	Sn	Pb
Красные шламы*	5 258,22	462,02	349,92	322,77	1 167,12	10,80	65,93	222,57
Красные шламы, по [9]	131	16	20	173	269	1,2	6	14,4
Кларк для бокситов**	3,25	6,90	1,50	1,70	3,35	7,40	3,05	3,00
Кларк концентрации в земной коре**	1 617,91	66,96	233,28	189,86	348,39	1,46	21,62	74,19

* Среднее значение 60 замеров.

** Кларк для бокситов, по А. П. Виноградову [18].

В результате проведенных исследований выявлены значительные концентрации ряда элементов-примесей: V, Zr, Sb, Cr, Ni, Sn, Pb, Mo, P, As. Распределение элементов-примесей показано на рис. 5.

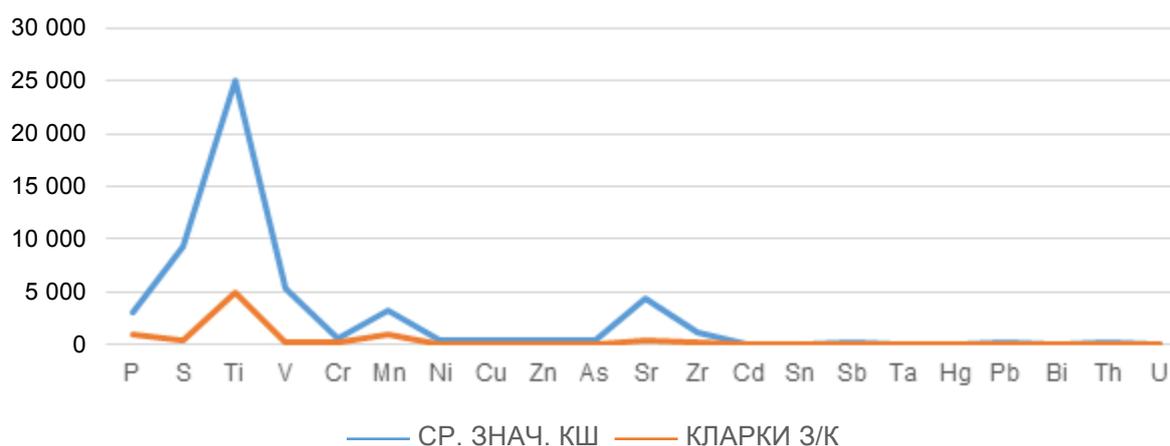


Рис. 5. Кларки элементов-примесей красных шламов по отношению к кларкам элементов в земной коре

Для изучения корреляционных связей элементов было выполнено построение дендрограммы, которая приведена на рис. 6.

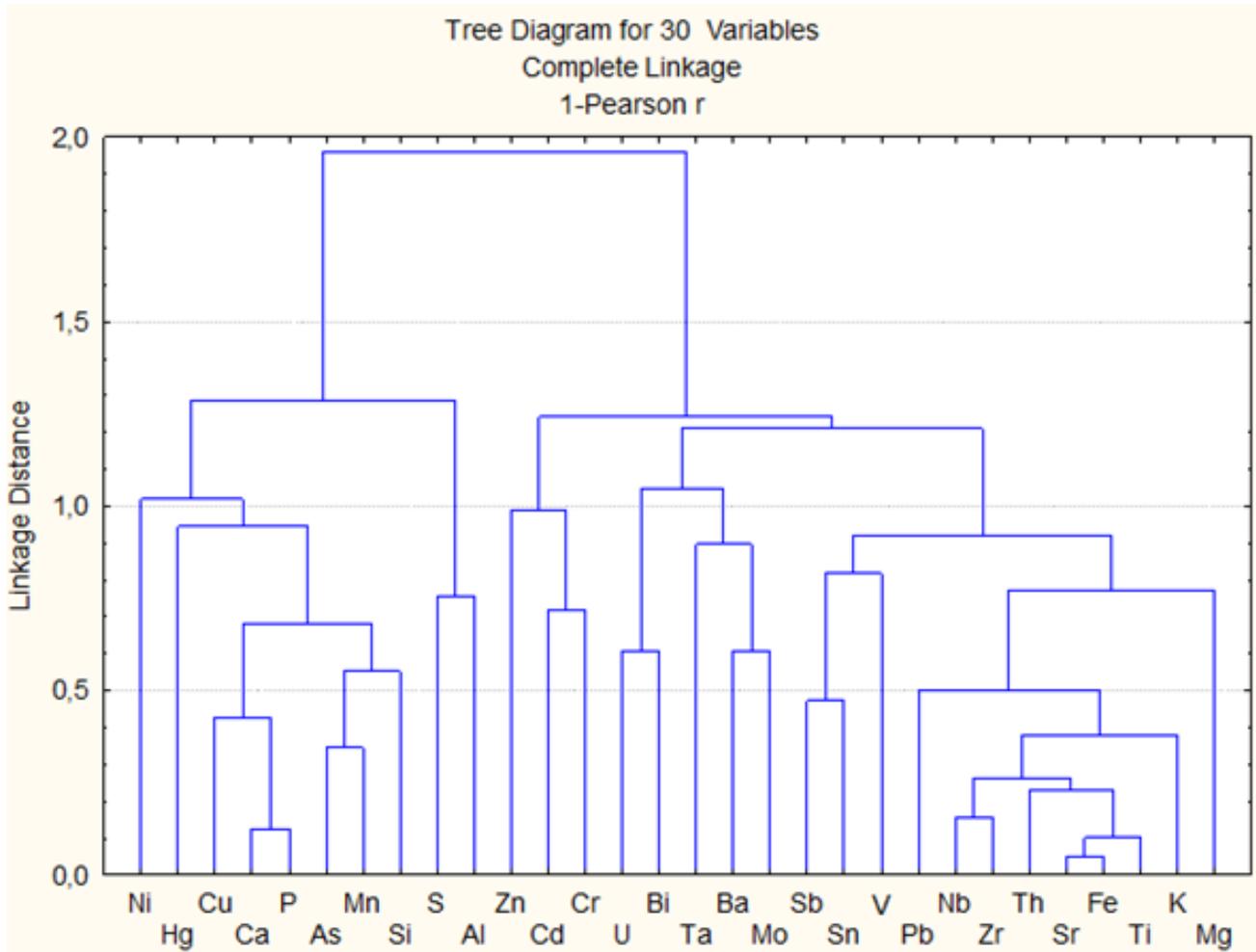


Рис. 6. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в красных шлаках Богословского алюминиевого завода

Исходя из полученных данных, в пробах были выделены две ассоциации элементов примесей: Cu – Ca – P – As – Mn – Si, связанные с кремнеземом, и Pb – Nb – Zr – Th – Sr – Fe – Ti – K, связанные с гематитом, которые определяются минеральным составом красных шламов.

Шлаки вторичного алюминия. Шлаки производства вторичного алюминия образуются на заводах цветной металлургии при получении вторичного алюминия и сплавов на его основе. Это так называемые алюмошлаки – гетерогенный металломинеральный материал, содержащий металлический алюминий и (или) сплавы на его основе, оксидные силикатные соединения и водорастворимые соли [17]. Алюминийсодержащие шлаки Сухоложского завода «Вторцветмет» состоят из металлической и неметаллической частей, металлическая содержит (масс. %) – 3,0–12,0 Si; 0,01–0,4 Mg; 0,3–3,0 Fe; 0,1–1,5 Zn и до 80 Al. Выход металлической части – 15 % от массы шлака. Реже объем образования шлаков составлял 17 тыс. т в год. Алюмошлаки являются перспективным техногенным полифункциональным сырьем для производства огнеупоров и другой продукции.

Другой пример подобных объектов – шлаковый отвал ОАО «Михалюм» (г. Михайловский), который располагался в северо-восточной части промышленной площадки завода на площади около 0,6 га. В разрезе шлакоотвала отложения представлены весьма неоднородными техногенными группами с включением алюмошлаков, древесины, железного лома, кусковых отходов стройматериалов, резинотехниче-

ских изделий, мощность которых составляет около 7 м. Алюмошлаки образуют небольшие глыбы размером в первые десятки сантиметров с включениями металлического алюминия, множественными обрывками алюминиевой фольги. Химический состав алюмошлаков (масс. %): Al металл – 10–20 (Al_2O_3) и байерит ($Al(OH)_3$). В настоящее время данный шлаковый отвал отработан, территория рекультивирована.

4. Направления использования отходов алюминиевой промышленности

Красные шламы являются уникальным сырьем, содержащим многие редкие металлы. Для их переработки предложены разнообразные технологии, которые пока не нашли промышленного применения.

Первое, что необходимо сделать, это провести сушку и обезвоживание красных шламов. Для сушки шламов предложено несколько способов, обзор которых приведен в работе [3]. В настоящий момент использование традиционных металлургических плавильных агрегатов требует специальной подготовки красных шламов к плавлению – окускованию, сушке и удалению щелочи. Эти операции приводят к высоким затратам и снижению экономической эффективности переработки, поэтому для получения наибольшего экономического эффекта предложено использовать для рециклинга этих отходов новые жидкофазные процессы, такие как «РОМЕЛТ» и «МАГМА».

Извлечение Al, Fe, Si, Ti, Sc, Au. В работе [16] показано, что красные шламы с добавками извести и обожженного доломита могут быть переработаны в жидкофазном плавильном агрегате «РОМЕЛТ» с получением чугуна и шлака, который пригоден для использования в цементной промышленности. Описана пирометаллургическая технология переработки красного шлама путем плавления в топливно-кислородном гарнисажном агрегате «МАГМА».

В работе [5] упомянуты способы переработки красных шламов для получения Al, Fe, Si, Ti и чугуна, часть из которых запатентованы.

В диссертации [14] проанализированы существующие технологии переработки красного шлама и эффективность методов извлечения из них ценных компонентов. Целью работы [14] являлось исследование выщелачивания красного шлама в серной кислоте для извлечения железа в раствор и концентрирования титана в нерастворимом остатке.

В работе [15] показано, что для извлечения Ti и Fe горным бюро США в опытном масштабе опробован способ извлечения титана из красного шлама, а также описан сложный способ для извлечения Al, запатентованный в Японии. Он отличается тем, что к красному шламу добавляют магнитный железняк, хлорид натрия, соду и фторид. Также упоминается в работе [15] ряд способов получения скандия из шламов боксита.

По Ю. Н. Брагину [1], возможность извлечения золота и других ценных минералов облегчается тем, что материал отходов в процессе переработки измельчается настолько, что присутствующие в нем минеральные фазы находятся во вскрытом состоянии. Для обогащения красных шламов рекомендуется сравнительно простая технологическая схема, включающая дезинтеграцию, классификацию, обесшламливание, магнитную сепарацию и гравитацию.

5. Выводы

1. Отходы алюминиевой промышленности достаточно разнообразны и включают в себя как отходы добычи главного сырья – бокситов, так и отходы их переработки – красные шламы, хранилища которых образуют значительные объекты, а также отходы производства вторичного алюминия.
2. В настоящее время уделяется недостаточно внимания изучению вещественного состава и разработке технологий переработки красных шлаков.
3. Сегодня слабая изученность этих техногенных образований требует проведения геологоразведочных работ.
4. Исследования позволили определить ряд элементов-примесей, а также оценить процентное содержание глинозема, кремнезема и железа. Также можно сделать вывод о том, что шламохранилища красных шламов БАЗа представляют собой техногенные месторождения, содержимое которых можно использовать для извлечения из них Al, Fe, Ti, Si, Pb, V, La, Ga, Sc и Au, а также для переработки на стройматериалы, пигменты и коагулянты для очистки сточных вод.
5. Первостепенно необходимо переосмыслить и совершенствовать уже известные схемы переработки бокситов для извлечения большего спектра ценных компонентов и снижения количества создаваемого шлама.
6. Следует обратить внимание на способ пирометаллургической переработки красных шламов [3] на плавильном агрегате «МАГМА» методом жидкофазного восстановления оксидов железа углеродом по одностадийной схеме либо двухстадийным процессом в сочетании с дуговой электропечью, который описан в [3], как на перспективный процесс переработки красных шламов. Данный способ позволяет пропустить процесс предварительной сушки и обезвоживания, извлечь из красных шламов комплексный Fe – Si – Al – Ti сплав и алюмокальциевый шлак. Также процесс является полностью безотходным, так как уловленная в газоочистке пыль возвращается (вдувается) инжекторами в плавильную камеру агрегата, в шлаковый расплав, что, в свою очередь, позволяет решить проблему экологической нагрузки, созданную красными шламами и будущими их шлаками.
7. Попутное извлечение скандия благополучно скажется на фоне экономической эффективности переработки красных шламов. Выбор экстракционных методов [15] позволит получить скандий без примесей. Также данные методы обладают возможностью организации замкнутых циклов, большей производительностью и достаточно хорошей селективностью.

6. Благодарности

Минеральный анализ образцов выполнен с использованием оборудования ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН. Дооснащение и комплексное развитие ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН осуществляется при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, соглашение № 075-15-2021-680.

Авторы благодарят за работу над изучением красных шламов: А. Д. Рянскую (ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН); кафедру геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Уральского государственного горного университета, а также М. С. Глухова и Б. М. Галлиулина, сотрудников лаборатории электронной микроскопии кафедры региональной геологии и полезных ископаемых Казанского федерального университета.

7. Список литературы

1. Брагин, Ю. Н. Красные шламы как источник минерального сырья (на примере отходов глиноземного производства): тезисы докладов XI Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания / Ю. Н. Брагин, Т. Н. Добровольская – М. : Изд-во ИГЕМ РАН, 1997. – С. 49.
2. Бушинский, Г. И. Геология бокситов / Г. И. Бушинский. – М. : Недра, 1975, С. 411.
3. Бушинский, Г. И. Геология бокситов / Г. И. Бушинский. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – М. : Недра, 1975. – С. 52–85.
4. Губкин, Е. С. Геология и геохимия девонских бокситов Северного Урала / Е. С. Губкин. – М. : Недра, 1978. – С. 238.
5. Жумашев, К. Ж. Изучение способов переработки красного шлама и оценка возможности развития нового направления исследований / К. Ж. Жумашев // Секция пути совершенствования технологии производства и обработки цветных металлов. – Караганда : Изд-во ХМИ им. Ж. Абишева, 2007.
6. Закоулков, И. В. Исследование физико-химических свойств отвальных красных шламов производства с целью разработки способов их кондиционирования // Экологические проблемы промышленных регионов / И. В. Закоулков, И. В. Логинова, А. Ю. Евсиков // Материалы 7 Всероссийской научно-практической конференции. – Екатеринбург : Изд-во АМБ, 2006. – С. 155–156.
7. Котова, О. Б. Сорбенты радионуклидов на основе промышленных отходов: физико-химические свойства и перспективы использования / О. Б. Котова, Л. Н. Москальчук, Д. А. Шушков, Т. Г. Леонтьев, А. А. Баклай // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. – 2017. – № 4. – С. 29–36. – DOI: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36.
8. Макаров, А. Б. Главные типы техногенно-минеральных месторождений Урала / А. Б. Макаров. – Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2006. – 206 с.
9. Макаров А. Б. Геолого-промышленные типы техногенных месторождений / А. Б. Макаров, А. Г. Талалай, Г. Г. Хасанова // Вестник ИГ Коми НУ УрО РАН. – 2018. – № 8. – С. 39–45.
10. Макаров, А. Б. Техногенные месторождения: особенности исследований / А. Б. Макаров, Г. Г. Хасанова, А. Г. Талалай // Известия УГГУ. – 2019. – № 3 (55). – С. 58–62.
11. Мормиль, С. Н. Минерально-сырьевая база техногенных образований Свердловской области, состояние и основные направления использования / С. Н. Мормиль, Л. А. Амосов, Г. Г. Хасанова // Техногенез и экология. Инф.-тем. сб. – Екатеринбург : УГГУ. – 2002. – С. 4–31.
12. Мормиль, С. Н. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / С. Н. Мормиль, В. Л. Сальников, Л. А. Амосов [и др.]. – 2002. – 216 с.
13. Порошина, В. А. Исследование возможности получения титановых концентратов из красных шламов: специальность 22.04.02 «Металлургия»: диссертация на соискание ученой степени магистра / В. А. Порошина. – Уральский федеральный университет. – Екатеринбург, 2017. – 54 с.
14. Пягай, И. Н. Извлечение скандия и других металлов из красного шлама глиноземного производства с поглощением токсичных газов печей спекания / И. Н. Пягай // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Уро РАН. – СПб., 2017.
15. Процесс Ромелт / В. А. Роменец, В. С. Валавин, А. Б. Усачев [и др.] – М. : Изд-во МИСиС. Руда и Металлы, 2005. – 400 с.

16. *Перепелицын, В. А.* Техногенные минеральные сырье Урала / В. А. Перепелицын, В. М. Рывин, В. А. Коротеев [и др.] // Екатеринбург : Изд-во РНО УрО РАН, 2013. – 332 с.
17. *Федоров, М. В.* Аллювий Урала / М. В. Федоров // Известия вузов. Горный журнал. – 1993. – № 3. – С. 6–62.
18. *Хасанова, Г. Г.* Методические принципы кадастровой оценки техногенно-минеральных образований Среднего Урала // Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Уральский государственный горный университет. – Екатеринбург. – 2003. – 17 с.
19. Накануне: узнай больше, чем знал накануне. – URL: <https://www.nakanune.ru>

Сведения об авторах:

Глухов Виталий Сергеевич, сотрудник ИГГ УрО РАН, студент Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта: sativ999@gmail.com

Макаров Анатолий Борисович, д. г.-м. н., доцент, старший научный сотрудник, проф. кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, Россия.

Хасанова Гульнара Габдулгариевна, к. г.-м. н., доцент кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, Россия.

ALUMINUM INDUSTRY WASTE: COMPOSITION, DIRECTIONS OF USE

V. S. Glukhov ^{1,2}, A. B. Makarov ¹, G. G. Khasanova ¹

¹ Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

² Institute of Geology and Geochemistry Academician A. N. Zavaritsky, Ural Branch,
Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Annotation: Relevance and purpose of the work. In the economy of the future, a significant place will be given to the processing of various industrial wastes, among which, within the Ural region, the most significant volume is occupied by technogenic formations of the mining industry and the production of metals. One of the leading industries within the region is aluminum. Consideration of the material composition and further use is the subject of this work. The purpose of the work is to characterize the material composition of technogenic formations of the aluminum industry and show the main directions of processing.

Research methodology. The analysis of the available data on the material composition of the initial mineral raw materials – bauxites and technogenic mineral formations – wastes of the aluminum industry was carried out.

To study red mud, modern analytical methods were used: X-ray phase analysis on a SHIMADZU XRD-7000 instrument, energy dispersive X-ray spectrometry on an X-MAX instrument and particle morphology studies on a PHILIPS XL-30 electron microscope, X-ray fluorescence analysis on a Hitachi X-MET 8000 instrument.

Work results. The material (chemical and mineral composition of technogenic – mineral formations) composition was studied, their specialization for rare metals was shown. Possible technologies for their processing as complex mineral raw materials are considered.

Conclusions. The obtained results of the study of the material composition significantly refined both the morphology of the particles and the concentration of a number of impurity elements, allowing to some extent to correct the proposed technologies for their processing.

Key words: aluminum, slag, red mud; sludge processing; technogenic deposits; aluminum slags; BAZ; UAZ; SUBR.

References

1. *Bragin, Y. N.* Red mud as a source of mineral raw materials (on the example of alumina production waste): abstracts of the XI International Conference on the geology of placers and deposits of weathering crusts / Y. N. Bragin, T. N. Dobrovolskaya. – Moscow : Publishing house of IGEM RAS, 1997. – P. 49.
2. *Bushinsky, G. I.* Geology of bauxites. – Moscow : Nedra, 1975. – P. 411.
3. *Bushinsky, G. I.* Geology of bauxites. 2nd edition, revised and enlarged. – Moscow : Nedra, 1975. – P. 52–85.
4. *Gubkin, E. S.* Geology and geochemistry of Devonian bauxites in the Northern Urals. – Moscow : Nedra, 1978. – P. 238.

5. *Zhumashev, K. Z.* Studying the methods of processing red mud and assessing the possibility of developing a new direction of research / K. Z. Zhumashev // Section of ways to improve the technology of production and processing of non-ferrous metals. – Karaganda: Publishing house of KhMI im. J. Abisheva. – 2007.
6. *Zakoulov, I. V.* Study of the physical and chemical properties of waste red mud from production in order to develop methods for their conditioning // Ecological problems of industrial regions / I. V. Zakoulov, I. V. Loginova, A. Y. Evsikov // Proceedings of the 7th All-Russian Scientific-practical conference. – Ekaterinburg : AMB Publishing House, 2006. – P. 155–156.
7. *Kotova, O. B.* Radionuclide sorbents based on industrial waste: physical and chemical properties and prospects for use / O. B. Kotova, L. N. Moskalchuk, D. A. Shushkov, T. G. Leontiev, A. A. Baklay // Bulletin of the IG Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – No. 4. – P. 29–36. – DOI: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36.
8. *Makarov, A. B.* Main types of technogenic mineral deposits in the Urals. – Ekaterinburg : Publishing house of USGU, 2006. – 206 p.
9. *Makarov, A. B.* Geological and industrial types of technogenic deposits / A. B. Makarov, A. G. Talalay, G. G. Khasanova // Vestnik IG Komi NU UrO RAN. – 2018. – No. 8. – P. 39–45.
10. *Makarov, A. B.* Technogenic deposits: features of research / A. B. Makarov, G. G. Khasanova, A. G. Talalay // Proceedings of USGU. – 2019. – No. 3 (55). – P. 58–62.
11. *Mormil, S. N.* Mineral resource base of technogenic formations of the Sverdlovsk region, state and main directions of use / S. N. Mormil, L. A. Amosov, G. G. Khasanova // Technogenesis and ecology. Inf. - topics. Sat. – Ekaterinburg : USGU. – 2002. – P. 4–31.
12. *Mormil, S. N.* Technogenic deposits of the Middle Urals and assessment of their impact on the environment / S. N. Mormil, V. L. Salnikov, L. A. Amosov [et al.]. – 2002. – 216 p.
13. *Poroshina, V. A.* Study of the possibility of obtaining titanium concentrates from red mud: specialty 22.04.02 «Metallurgy»: dissertation for a master's degree / V. A. Poroshina. – Ural Federal University. – Ekaterinburg. – 2017. – 54 p.
14. *Pyagay, I. N.* Extraction of scandium and other metals from red mud of alumina production with the absorption of toxic gases from sintering furnaces // Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. – Uro RAS. – St. Petersburg, 2017.
15. Romelt process / V. A. Romanets, V. S. Valavin, A. B. Usachev [et al.]. Moscow MISiS Publishing House. Ore and Metals. – 2005. – 400 p.
16. *Perepelitsyn, V. A.* Technogenic mineral raw materials of the Urals / V. A. Perepelitsyn, V. M. Rytvin, V. A. Koroteev [et al.] // Ekaterinburg : Publishing House of RNO UrO RAN, 2013. – 332 p.
17. *Fedorov, M. V.* Aluminum of the Urals // Izvestiya vuzov. Mining magazine. – 1993. – No. 3. – P. 6–62.
18. *Khasanova, G. G.* Methodological principles of cadastral assessment of technogenic-mineral formations of the Middle Urals // Avtoref. diss. cand. geol.-min. Sciences. Ural State Mining University. – Ekaterinburg. – 2003. – 17 p.
19. Nakanune: learn more than you knew the day before. – URL: <https://www.nakanune.ru>