

УДК 631.82:662.642.2

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/115/14>

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ БУРОГО УГЛЯ ЮЖНОГО РЕГИОНА КЫРГЫЗСТАНА

©*Эркинбаева Н. А.*, SPIN-код: 4556-1078, Ошский технологический университет  
им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, [nerkinbaeva80@gmail.com](mailto:nerkinbaeva80@gmail.com)

©*Шакирбаев К. С.*, Ошский Ошский технологический университет  
им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан

## STUDY OF RARE EARTH ELEMENTS OF BROWN COAL OF THE SOUTHERN REGION OF KYRGYZSTAN

©*Erkinbaeva N.*, SPIN-code: 4556-1078, Osh Technological University  
named after M. M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan [nerkinbaeva80@gmail.com](mailto:nerkinbaeva80@gmail.com)

©*Shakirbaev K.*, Osh Technological University named after M. M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan

*Аннотация.* Представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа бурого угля южного региона Кыргызстана. Установлено, что в составе угля месторождений Мин-Куш и Бел-Алма содержится от 0,007% до 15,12% Ir, 0,174% Zr, 0,198% Rb, от 0,232% до 0,242% In, от 1,106% до 1,188 % Pd и 58,97% Os.

*Abstract.* The results of X-ray fluorescence analysis of brown coal from the southern region of Kyrgyzstan are presented. It was found that coal from the Min-Kush and Bel-Alma deposits contains from 0.007% to 15.12% Ir, 0.174% Zr, 0.198% Rb, from 0.232% to 0.242% In, from 1.106% to 1.188% Pd and 58.97% Os.

*Ключевые слова:* редкоземельный металл, тяжелый металл, рентгенофлуоресцентный.

*Keywords:* rare earth metal, rare metal, heavy metal, x-ray fluorescence.

В настоящее время наблюдается тенденция к изменению структуры мировой экономики, развитию высокотехнологичных производств, формированию в развитых странах модели «зеленой экономики», росту электрогенерации на основе использования возобновляемых источников энергии. В модернизации экономики стран в направлении развития высокотехнологичных отраслей редкоземельные элементы (РЗЭ) играют ключевую роль. Роль РЗЭ в современной экономике объясняется их уникальными свойствами, делающих их незаменимыми для развития высокотехнологичных, наукоемких отраслей. Известно, что к редкоземельным металлам относятся: лантан, церий, неодим, празезим, самарий, прометий, гадолиний, европий, тербий, гольмий, диспрозий, эрбий, иттербий, лютеций, тулий, скандий, иттрий. Насчитываются десятки сфер эффективного использования редких металлов. Быстрорастущие области использования редкоземельных металлов связаны с ростом производства оборонной, телекоммуникационной, компьютерной техники, катализаторов для крекинга, сверхпроводников, лазеров, топливных элементов, металлургической инновационной продукции. Основные и быстро растущие области применения редких металлов и РЗЭ в мире связаны с производством стали, труб,

аккумуляторов, постоянных магнитов и т.д. Среди перечисленных направлений использования РЗЭ в целях перехода к устойчивому развитию, наибольший интерес представляет применение редкоземельных металлов в «зеленых» технологиях: электрические и гибридные автомобили, солнечная энергетика, очистка воды, ветряные турбины, гидроэнергетика [5].

Таким образом, при переходе к модели устойчивого развития редкие металлы и РЗЭ являются необходимым сырьем, что прогнозирует повышение спроса на них в будущем ввиду тенденции к экологизации производства в странах Европейского союза, Японии, США и ряде новых индустриальных стран. Для производства одного ветрогенератора мощностью 2 МВт на постоянных магнитах требуется до 360 кг неодима и 60 кг диспрозия. Редкоземельные элементы обладают стратегической важностью в мировом промышленном производстве, не говоря уже о будущем. Данные элементы и их соединения используются в производстве высокотехнологичной продукции в таких отраслях как атомная энергетика, медицина, оптика, химическая и стекольная промышленность, металлургия, а также при производстве электроники, лазерной техники и телекоммуникационного оборудования и т.д. Отметим, что при производстве оборудования для «зеленой» энергетики, а именно электромобилей, ветрогенераторов, солнечных панелей, энергосберегающих ламп и других технологий, способствующих развитию «зеленого» тренда экономики, РЗЭ являются основными и необходимыми элементами. Зарубежными исследователями (США) к стратегическим и незаменимым в сфере развития технологий «зеленой» энергетики отнесены шесть химических элементов: неодим (постоянные магниты и батарей); диспрозий (ветровые турбины); иттрий, европий и тербий (люминофоры); индий (фотоэлектрические пленки) [1].

Производство покрытий для солнечных батарей обеспечивается за счет индия, галлия, теллура; неодим, диспрозий, празеодим обеспечивают производство магнитов для ветрогенераторов. В производство популярных на сегодняшний день гибридных автомобилей вовлекается целый спектр редкоземельных металлов. Таким образом, РЗЭ являются важнейшим сырьем для современного высокотехнологичного производства, в том числе необходимы для развития «зеленых» технологий, а также возобновляемых источников энергии. В настоящее время крупнейшим производителем и экспортером редкоземельных металлов является Китай, обеспечивающий порядка 95% мировых потребностей, т.е. можно сделать вывод, что КНР имеет потенциальную возможность осуществлять тотальный контроль над всем рынком наукоемкой высокотехнологичной продукции, в том числе над производствами на основе «зеленых» технологий, которые невозможны без использования редких и редкоземельных элементов, (Таблица 1).

Таблица 1

ДОБЫЧА РЗЭ ПО СТРАНАМ, 2023 г.

<i>Страна</i>	<i>Добыча РЗМ, т</i>	<i>Добыча РЗМ, %</i>
Китай	238000	68,0
США	43000	12,3
Мьянма	12000	3,43
Индия	7300	2,09
Таиланд	7100	2,03
Вьетнам	4300	1,23
Россия	3500	1,0
Другие страны	34800	9,92
<i>Итого</i>	<i>350000</i>	<i>100</i>

Ввиду развития высокотехнологичных производств, в том числе «зеленых» технологий, мировые потребности в редкоземельных металлах и РЗЭ будут постоянно увеличиваться и согласно прогнозам, вырастут к 2025 г до 400–600 тыс. т. в год. Киргизия, по сведениям Industrial Mineral, занимает второе место по запасам сырья [1].

Кыргызская Республика имея собственные месторождения редких и редкоземельных элементов (Кутессай-II и Калесай), не производит редких металлов и РЗЭ. В настоящее время, остаток балансовых запасов месторождение Кутессай-II по категории В+С1+С2 составляет: руда (20,2 млн. т), РЗМ (51,5 тыс. т), молибден (2,4 тыс. т), висмут (2,3 тыс. т), свинец (21,3 тыс. т). Среднее содержание РЗМ в руде составляет 0,25%, 0,012% Мо, 0,012% Вi, 0,12% Рb. Извлечение суммы редких земель составляет 65%. Разведанные запасы с месторождений бериллия Калесай оставляют 9245 тыс. т руды и 11701 т оксида бериллия при среднем содержании 0,127% [2].

На территории Кадамжайского сурьмяного комбината (КСК) Кыргызской Республики имеются десятки миллионов тонн промышленных отходов [3]. Ранее были исследованы и определены химический состав техногенных отходов (шлак намагниченный, шлак в виде песка, флотационные хвостовые отходы) [4]. Результаты химического, спектрального, и рентгено-флуоресцентного анализа показали, что в техногенных отходах содержатся очень ценные редкоземельные элементы: иттербий, иттрий, лантан и скандий (Yb, Y, La, Sc), а также титан, ванадий, вольфрам, ниобий, индий, германий, галлий, тантал, молибден, стронций, фермий, цирконий, кобальт и др. Определены оксиды элементов для использования в качестве сырья производства портландцемента и строительных материалов: 50%–60% SiO<sub>2</sub>; 4%–5,6% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4%–7% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4%–17,5% CaO и др. [5]. Извлечение редкоземельных элементов проводилось на основании электроактивированной воды с добавлением 50%-ной серной кислоты в количестве 3%–10% в соотношении Т:Ж=1:1 и температуре 40–80<sup>0</sup>С [6]. Разработана технология очистки нежелательных примесей редкоземельных элементов из шлака Кадамжайского сурьмяного комбината с применением неорганических и органических реагентов методом осаждения и методом транспортных реакций с конвекцией газов и получение РЗЭ металлотермическим методом [7, 8].

Спрос и цены на редкие металлы и РЗЭ продолжают расти. В будущем это создает дополнительные риски для высокотехнологичных производств КР и поэтому необходимо развивать собственную редкоземельную промышленность, и она обусловлена следующими обстоятельствами: 1) области применения редких металлов активно развиваются; 2) прогнозируется увеличение производства и потребления редкоземельных металлов ввиду роста использования альтернативных источников энергии и высокотехнологичной продукции. В настоящее время, основным источником редкоземельных элементов являются природные руды, которые добываются в некоторых странах в ограниченных количествах. Однако извлечение редкоземельных элементов из промышленных отходов является сложной технологической задачей, которая требует разработки технологии их извлечения. Исследованы процессы извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса и куларита (отхода золотодобычи) [9].

Куларитовый концентрат с размером зерен 0,5–1,0 мм имеет состав, % (мас.): 3,4 Si; 0,5 Th; <0,1 U; 60 РЗЭ. РЗЭ представлены фосфатами, в основном цериевой группы. Минерал легко вскрывается растворами серной кислоты, гидроксида натрия или спеканием с карбонатом натрия. Предложена технология разделения РЗЭ, полученных из куларита до концентратов лантана, церия, самарий-европей-гадолиниевого концентрата и неодима. Изучены особенности извлечения РЗЭ из другого типа отходов — фосфогипса, образующегося при серноокислотном вскрытии апатита. Предложена технология переработки

фосфогипса, Данная технология обеспечивает 100%-ную утилизацию фосфогипса, являющегося комплексным химическим сырьем. Также существуют ряд работ выделения РЗЭ сернокислотной переработкой из апатита и продукта его переработки фосфогипса с последующим контролем [10].

Наибольшую известность получила экстракция РЗМ трибутилфосфатом (ТБФ), который является нейтральным. Процесс применим для нитратных и азотнокислых растворов. Длительное время экстракцию ТБФ также использовали для разделения РЗМ по группам и получения индивидуальных РЗМ [11].

Рентгенофлуоресцентный анализ — это метод элементного анализа, основанный на взаимодействии вещества с высокоэнергетическим рентгеновским излучением, генерируемым рентгеновской трубкой, которое приводит к испусканию веществом вторичного рентгеновского излучения (рентгеновская флуоресценция). При этом атомы каждого химического элемента излучают фотоны со строго определенной энергией, которая фактически не зависит от химического строения вещества [12].

Спектрофотометрия, особенно в варианте производной, использована для определения не слишком низких содержаний РЗЭ в смесях других РЗЭ в работе «Derivative spectrophotometry — recent applications and directions of developments» [13].

#### *Экспериментальная часть*

Метод измерений содержания РЗЭ основан на регистрации и последующем анализе спектра, полученного путём воздействия на исследуемый образец бурого угля южного района Кыргызстана рентгеновским излучением. При облучении образца возникает возбуждение и характеристическое флуоресцентное излучение атомов, при этом каждый атом испускает фотон с энергией строго определённого значения. После возбуждения спектр регистрируется на детекторе, и далее по пикам полученного спектра можно определить, какие химические элементы присутствуют в данном образце.

Химический состав бурого угля южного района Кыргызстана исследован рентгенофлуоресцентным методом на основе методики XRF-, измерительным аппаратом LANTA olympus. Полученные данные представлены в Таблице 2.

Таблица 2  
 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ БУРЫХ УГЛЕЙ ЮЖНОГО РАЙОНА КЫРГЫЗСТАНА, %

Элемент	Кара-Добо	Мин-Куш	Зак-Капка суу	Бел-Алма
Ir	0,011	-	0,007	15,12
Cr	0,018	-	0,016	-
Mn	0,017	-	0,244	-
Ti	0,327	0,204	0,604	-
Fe	2,066	-	2,648	20,49
Os	-	-	-	58,97
Ni	-	0,044	-	-
Sb	-	0,081	-	-
Zr	-	0,174	-	-
Ru	-	0,198	-	-
Sn	-	0,208	-	0,209
In	-	0,232	-	0,242
Cd	-	0,430	-	0,439
Ag	-	0,610	-	0,617
Pd	-	1,106	-	1,188
Au	-	-	-	2,023

Для определения количественного содержания, спектр неизвестного вещества сравнивается со спектрами, полученными при облучении стандартных образцов (библиотеки спектров). В настоящее время РФА (XRF) позволяет определять концентрации химических элементов от бериллия (Be) до урана (U) в твердых, жидких и порошкообразных пробах различного происхождения. Рентгенофлуоресцентный анализ — высокоточный, быстрый и неразрушающий метод, с низкими пределами обнаружения (0.1–10 ppm) и высокой воспроизводимостью результатов. К достоинствам РФА можно также отнести простую и быструю пробоподготовку, а также то, что любую пробу можно анализировать практически любое число раз. Одними из лучших портативных анализаторов (спектрометров) на основе РФА по праву являются XRF-анализаторы.

*Список литературы:*

1. Твердохлебова Т. В., Усова Е. А. Экономическая глобализация и проблемы национальной и международной безопасности // Проблемы современной экономики. 2011. №4. С. 40.
2. Государственная программа использования отходов производства и потребления. Постановление Правительства КР от 19 августа 2005 года № 389.
3. Ысманов Э. М. Определение химического состава промышленных отходов Кадамжайского сурьмяного комбината // Наука. Образование. Техника. 2016. №2. С. 1-7.
4. Эркинбаева Н. А., Ташполотов Ы., Ысманов Э. М. Исследование химического состава промышленных отходов Кадамжайского сурьмяного комбината // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №12. С. 73-78. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/08>
5. Эркинбаева Н. А., Ысманов Э. М., Ташполотов Ы. Применение техногенных отходов Кадамжайского сурьмяного комбината в качестве сырья для получения портландцемента // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №3. С. 206-211. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/64/21>
6. Эркинбаева Н. А. Технология извлечения редкоземельных элементов из шлака Кадамжайского сурьмяного комбината // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. №1. С. 311315. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/62/33>
7. Эркинбаева Н. А., Ысманов Э. М., Ташполотов Ы. Технология получения редкоземельных элементов из шлака Кадамжайского сурьмяного комбината с применением неорганических и органических реагентов методом осаждения // Тенденции развития науки и образования. 2021. №74-2. С. 143-147.
8. Эркинбаева Н. А. Определение скандия фотометрическим методом и получения скандия натриетермическим методом // Материаловедение НАН КР. 2024. №3.
9. Башлыкова Т. В., Вальков А. В., Петров В. И. Извлечение редкоземельных элементов из фосфогипса и отходов золотодобычи // Цветные металлы. 2012. №3. С. 40-42.
10. Локшин Э. П., Калинин В. Т., Тареева О. А. Извлечение редкоземельных элементов из промпродуктов и техногенных отходов переработки хибинского апатитового концентрата // Цветные металлы. 2012. №3. С. 75-80.
11. Ягодин Г. А., Каган С. З., Тарасов В. В. Основы жидкостной. М.: Химия, 1981. С. 221-226.
12. Павлинский Г. В. Основы физики рентгеновского излучения. Иркутск, 1999. 168 с.
13. Karpińska J. Derivative spectrophotometry — recent applications and directions of developments // Talanta. 2004. V. 64. №4. P. 801-822. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.03.060>

References:

1. Tverdokhlebova, T. V., & Usova, E. A. (2011). Ekonomicheskaya globalizatsiya i problemy natsional'noi i mezhdunarodnoi bezopasnosti. *Problemy sovremennoi ekonomiki*, (4), 40. (in Russian).
2. Gosudarstvennaya programma ispol'zovaniya otkhodov proizvodstva i potrebleniya. Postanovlenie Pravitel'stva KR ot 19 avgusta 2005 goda № 389.
3. Ysmanov, E. M. (2016). Opredelenie khimicheskogo sostava promyshlennykh otkhodov Kadamzhaiskogo sur'myanogo kombinata. *Nauka. Obrazovanie. Tekhnika*, (2), 1-7. (in Russian).
4. Erkinbaeva, N., Tashpolotov, Y., & Ysmanov, E. (2020). Research of the Chemical Composition of Industrial Waste of the Kadamzhay Antimony Combine. *Bulletin of Science and Practice*, 6(12), 73-78. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/61/08>
5. Erkinbaeva, N., Ysmanov, E., & Tashpolotov, Y. (2021). The Use of Technogenous Waste From the Kadamjai Antimony Plant as a Raw Material for the Production of Portland Cement. *Bulletin of Science and Practice*, 7(3), 206-211. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/64/21>
6. Erkinbaeva, N. (2021). Technology for the Extraction of Rare Earth Elements From Slag Kadamzhai Antimony Combine. *Bulletin of Science and Practice*, 7(1), 311-315. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/62/33>
7. Erkinbaeva, N. A., Ysmanov, E. M., & Tashpolotov, Y. (2021). Tekhnologiya polucheniya redkozemel'nykh elementov iz shlaka Kadamzhaiskogo sur'myanogo kombinata s primeneniem neorganicheskikh i organicheskikh reagentov metodom osazhdeniya. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, (74-2), 143-147. (in Russian).
8. Erkinbaeva, N. A. (2024). Opredelenie skandiya fotometricheskim metodom i polucheniya skandiya natrietermicheskim metodom. *Materialovedenie NAN KR*, (3). (in Russian).
9. Bashlykova, T. V., Val'kov, A. V., & Petrov, V. I. (2012). Izvlechenie redkozemel'nykh elementov iz fosfogipsa i otkhodov zolotodobychi. *Tsvetnye metally*, (3), 40-42. (in Russian).
10. Lokshin, E. P., Kalinnikov, V. T., & Tareeva, O. A. (2012). Izvlechenie redkozemel'nykh elementov iz promproduktov i tekhnogennykh otkhodov pererabotki khibinskogo apatitovogo kontsentrata. *Tsvetnye metally*, (3), 75-80. (in Russian).
11. Yagodin, G. A., Kagan, S. Z., & Tarasov, V. V. (1981). *Osnovy zhidkostnoi*. Moscow, 221-226. (in Russian).
12. Pavlinskii, G. V. (1999). *Osnovy fiziki rentgenovskogo izlucheniya*. Irkutsk. (in Russian).
13. Karpińska, J. (2004). Derivative spectrophotometry — recent applications and directions of developments. *Talanta*, 64(4), 801-822. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2004.03.060>

Работа поступила  
в редакцию 02.04.2025 г.

Принята к публикации  
11.04.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Эркинбаева Н. А., Шакирбаев К. С. Исследование редкоземельных элементов бурого угля южного региона Кыргызстана // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №6. С. 99-104. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/115/14>

Cite as (APA):

Erkinbaeva, N., & Shakirbaev, K. (2025). Study of Rare Earth Elements of Brown Coal of the Southern Region of Kyrgyzstan. *Bulletin of Science and Practice*, 11(6), 99-104. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/115/14>