

УДК 669.053.4+66.087.7

**Ибрагимов Таалайбек Каилбекович,**  
*аспирант*

*Ошский государственный университет*

**Ибрагимов Таалайбек Каилбекович,**  
*аспирант*

*Ош мамлекеттик университети*

**Ibragimov Taalaibek Kailbekovich,**  
*graduate student*

*Osh State University*

**Садыков Эркинбай,**

*к.т.н., доцент*

*Ошский государственный университет*

*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР*

**Садыков Эркинбай,**

*т.и.к., доцент*

*Ош мамлекеттик университети*

*УИАнын ТБнүн А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту*

**Sadykov Erkinbai,**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*Osh State University,*

*Institute of Natural Resources*

*named after A.S. Dzhamanbaeva Southern Branch of the NAS KR*

**Ташполотов Ысламидин ,**

*д.ф.-м.н., профессор*

*Ошский государственный университет,*

*Институт природных ресурсов им. А.С. Джаманбаева ЮО НАН КР*

**Ташполотов Ысламидин ,**

*ф-м.и.д., профессор*

*Ош мамлекеттик университети*

*УИАнын ТБнүн А.С. Джаманбаев ат. Жаратылыш байлыктары институту*

**Tashpolotov Yslamydin,**

*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Chief Researcher,*

*Osh State University,*

*Institute of Natural Resources*

*named after A.S. Dzhamanbaeva Southern Branch of the NAS KR*

## **ИЗВЛЕЧЕНИЕ ОКСИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ИОНИЗАЦИИ**

**Аннотация.** Разработана технология избирательного извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из сточных вод на основе электрофизической ионизации (ЭФИ), путем возбуждения и ионизации атомов с помощью электрического поля. Установлено, что максимально массовые концентрации извлеченных РЗЭ из сточных вод реки Ак-Буура при

ионизации воды электрическим током составляют элементы: Вк, Тб, Нф, Но и др. Определены химический состав извлеченных РЗЭ из сточных вод реки Ак–Буура на основе электрофизической ионизации. На основе технологии электрофизической ионизации произведены селективная ионизация элементов путем варьирования разных уровней потенциалов ионизации атомов химических элементов, входящих в состав сточных вод. Выявлено, что при ЭФИ сточных вод количество концентрации извлеченных РЗЭ зависит от площади поверхности электродов и расстояния между электродами.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, электрофизическая ионизация, селективное извлечение, химические элементы, сточная вода, потенциал ионизации атомов.

### ЭЛЕКТРОФИЗИКАЛЫК ИОНДОШУУНУН НЕГИЗИНДЕ АГЫН СУУЛАРДАН СЕЙРЕК КЕЗДЕШҮҮЧҮ ЭЛЕМЕНТТЕРДИН ОКСИДДЕРИН БӨЛҮП АЛУУ

**Аннотация.** Электрдик талаанын жардамы колдонуп электрофизикалык иондоштуруунун (ЭПИ) негизинде агын суулардан сейрек кездешүүчү элементтерди (РЭ) бөлүп алуу технологиясы иштелип чыгылды. Ак-Буура дарыясынын сууну электр тогу менен иондоштуруу учурунда алынган сейрек кездешүүчү элементтердин максималдуу массалык концентрацияларын төмөнкү элементтер этүзөрү аныкталган: Вк, Тб, Нф, Но ж.б. Алынган заттардын химиялык курамы электрофизикалык иондоштуруунун негизинде аныкталган. Электрофизикалык иондоштуруунун технологиясына таянып, агын сууларды түзүүчү химиялык элементтердин атомдорунун иондошуу потенциалдарынын ар кандай деңгээлдеги өзгөрүшү менен элементтерди селективдүү бөлүп алуу иондоштуруу аркылуу жүргүзүлдү. Агынды сууну электрофизикалык иондоштуруу учурунда алынган сейрек кездешүүчү элементтердин концентрациясынын өлчөмү электроддордун бетинин аянтына жана электроддордун ортосундагы аралыкка көз каранды экендиги аныкталган.

**Негизги сөздөр:** сейрек кездешүүчү элементтер, электрофизикалык иондоштуруу, бөлүп алуу, химиялык элементтер, агын суулар, атомдук иондошуу потенциалы.

### EXTRACTION OF OXIDES OF RARE EARTH ELEMENTS FROM WASTE WATER BASED ON ELECTROPHYSICAL IONIZATION

**Abstract.** A technology has been developed for the selective extraction of rare earth elements (REE) from wastewater based on electrophysical ionization (EPI), by excitation and ionization of atoms using an electric field. It has been established that the maximum mass concentrations of REE extracted from Ak-Buura river wastewater during water ionization by electric current are the following elements: Bk, Tb, Hf, Ho, etc. The chemical composition of REE extracted from Ak-Buura river wastewater was determined on the basis of electrophysical ionization. Based on the technology of electrophysical ionization, selective ionization of elements was carried out by varying different levels of ionization potentials of atoms of chemical elements that make up wastewater. It was found that during the EPI of wastewater, the amount of concentration of extracted REE depends on the surface area of the electrodes and the distance between the electrodes.

**Key words:** rare earth elements, electrophysical ionization, selective extraction, chemical elements, waste water, ionization potential of atoms.

В XXI веке технологический уклад производства, предполагает создания новых материалов с уникальными свойствами и является важным условием модернизации промышленности.

Разработка и применение новых материалов основаны на использовании уникальных физико-химических и механических свойств редкоземельных металлов (РЗМ) (высокая химическая активность, способность к стеклообразованию, жёсткому намагничиванию и переходу в состояние сверхпроводимости, флуоресценция и лазерный эффект, диэлектрические свойства, высокая радиационная проводимость и др.).

В настоящее время редкоземельные элементы (РЗЭ), используются в металлургии для получения специальных сплавов, в оптической промышленности при варке стёкол с особыми свойствами, светотрансформирующих, электролюминесцентных и других материалов; в энергетике в технологии новых и возобновляемых источников энергии, водородную энергетику, изготовления аккумуляторов и топливных элементов, в производстве солнечных батарей и катализаторы крекинга нефти; в электронной промышленности при производстве микрочипы, дисплеи, оптоволоконных устройств памяти, технологии наноустройств и микросистемной техники; в оборонной промышленности – радары, системы наведения, навигационные системы, реактивные двигатели, электроприводы управления опережением ракет, т.е., технологии создания ракетно-космической, энергетической, электронной и транспортной техники нового поколения без редких и редкоземельных металлов невозможно. В настоящее время количество областей применения РЗМ превышает 100. Поэтому спрос на редкоземельную продукцию растёт с каждым годом, на сегодняшний день имеется дефицит РЗЭ [1-3].

Темпы мирового потребления редкоземельных металлов (РЗМ) растут: до 2020 г. они составляли 10% в год. Их главный поставщик – Китай, который производит 95%

лёгких и почти 100% тяжёлых РЗМ. Основные потребители редкоземельных металлов – страны, обладающие высокотехнологичными производствами (Китай, Япония, Корея, Германия, Франция, США). Россия тоже испытывает острую необходимость в РЗМ для развития высокотехнологичных отраслей промышленности и военно-промышленного комплекса [1].

В настоящее время существуют несколько основных методов извлечения РЗЭ: кристаллизационный [4,5], экстракционный [6,7], сорбционный [8-10]:

1. Кристаллизационный метод заключается в осаждении некоторых компонентов при введении в раствор специальных реагентов [4,5]. В работах [4,5] затравки помещаются в поток нагретой экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) и на ее поверхности кристаллизуются соединения редкоземельных металлов (РЗМ). Однако, как показала испытания, проведенные в промышленных условиях, затравки быстро пассивируются, а также возникает необходимость нагрева ЭФК до высоких температур. Кроме того, дальнейшая переработка получаемых осадков требует создания высокопроизводительной автоклавной аппаратуры [12,13].

2. Жидкостная экстракция РЗМ из ЭФК с использованием различных органических экстрагентов исследовалась в [6,7], но до сих пор не было предложено приемлемое технологическое решение.

Данный метод имеет множество недостатков, связанных с относительно невысоким содержанием РЗМ в ЭФК, высокой селекцией кальция и других примесных компонентов, большой потерей фосфат-иона при экстракции, а также загрязнением продукционной ЭФК органическими продуктами. Экстракцию РЗМ целесообразно проводить на стадии их разделения или же очистки РЗМ-концентрата из солянокислых и азотнокислых растворов.

3. Суть сорбционного метода извлечения РЗМ заключается в выборе

десорбента, удовлетворяющий ряд требований: образовывать с РЗМ соединения, легко поддающиеся дальнейшей переработке, обладать низкой коррозионной активностью и др. [8-10]. Среди многочисленных методов извлечения РЗМ из ЭФК, сорбционные методы позволяют с высокой степенью извлекать необходимые компоненты при малых капитальных расходах и рациональном выборе сорбентов или ионообменных смол.

В последние годы технологии производства РЗЭ также совершенствуются. Например, можно выделить следующие два подхода:

1. Метод улавливания РЗЭ компании Ucore (разработчик – Intellimet Ltd). В соответствии данного метода улавливания РЗЭ проводится с помощью функциональных групп, привитых к трёхмерным полимерным сеткам в межчастичном пространстве, т.е не используются традиционные ионообменные смолы,

2. Физическое разделение концентратов. С помощью этого метода европий, иттербий и лантан разделены с использованием электрофореза в свободном потоке. В процессе очистки концентрата и физического разделения не применяются органические растворители.

На территории Кыргызской Республики имеется разведанная сырьевая база для производства золота, сурьмы, ртути, олова, вольфрама, бериллия, висмута, редкоземельных элементов и различных видов нерудных полезных ископаемых.

В связи с этим нами разработана технология избирательного извлечения РЗЭ из сточных вод на основе электрофизической ионизации (ЭФИ) [11], путем возбуждения и ионизации атомов с помощью электрического поля.

В электрофизической ионизации [11] извлечение РЗЭ из состава сточных вод основаны на следующем:

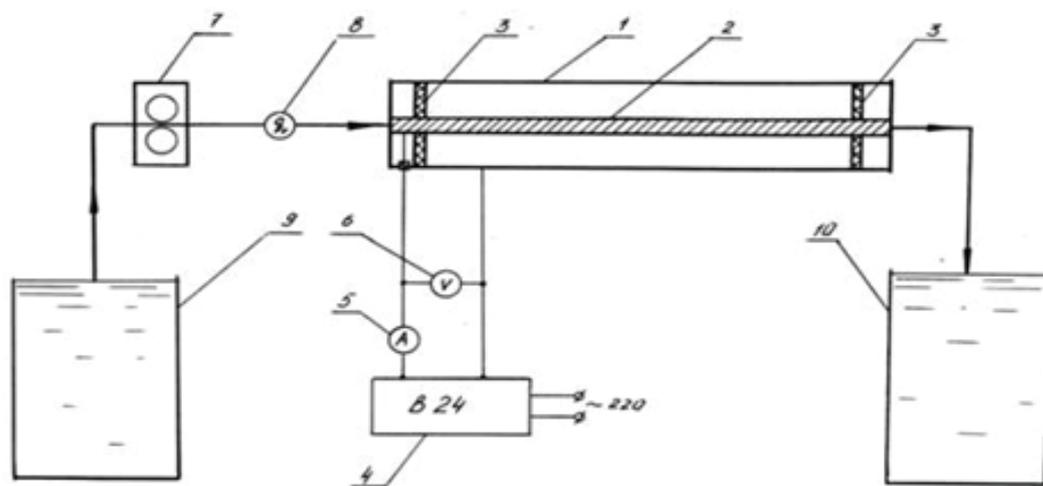


Рис.1. Принципиальная схема устройства для извлечения РЗЭ из сточных вод

Устройство для извлечения РЗЭ из сточных вод( работает следующим образом:

Вода, требующая обработки, с помощью насоса 7 подается в устройство для извлечения РЗЭ. Вентилем 8, устанавливается необходимый расход воды. Через выпрямитель 4 на корпус 1 и цилиндрический стержень 2 подается постоянное напряжение, которое регулируется по показаниям амперметра 5 и вольтметра 6. Обработанная вода поступает в емкость 10.

Исследования проводились с водой реки Ак-Буура.

В результате экспериментов установлено, что при электрофизической ионизации наблюдается достижение токовыми параметрами оптимальных значений в пределах:  $U$  (36-60 В) и  $I$  (2,88-6 А), оптимальное время обработки  $t$  составляет 50-70 с. С использованием данного устройства проведены экспериментальные исследования по извлечению РЗЭ. Полученные данные представлены в таблице 1.

**Таблица 1.**  
**Химический состав элементов, извлеченные из сточных вод реки Ак-Буура, полученные на основе электрофизической ионизации**

к/№	Начальное напряжение в электродах $U_0$ , В	Напряжение в электродах в момент времени ионизации, $U_{n,k}$ , В	Время ионизации, $\Delta t$ , с	Ионизированные химические элементы	Массы ионизированных атомов в 1 сек, $10^9$ , гр	Масса химич. Элементов, $\frac{мг}{л}$
1.	5,1	$5,1+0,01875*t_{1,k}$	16	Na	29,78	122,13
2.	5,4	$5,4+0,0075*t_{2,k}$	20	Pr	24,32	99,75
3.	5,55	$5,55+0,010714285*t_{3,k}$	14	Pm	35,62	146,08
4.	5,7	$5,7+0,015*t_{4,k}$	10	Pu	84,3	345,63
5.	5,85	$5,85+0,15*t_{5,k}$	4	Tb	137,32	563,05
6.	6,0	$6,0+0,025*t_{6,k}$	8	Ho	95,03	389,66
7.	6,3	$6,3+0,1*t_{7,k}$	4	Bk	568,93	2332,65
8.	6,75	$6,75+0,0272727*t_{8,k}$	11	Cr	16,3	66,87
9.	7,05	$7,05+0,0153846*t_{9,k}$	13	Mo	17,0	69,73
10.	7,2	$7,2+0,025*t_{10,k}$	6	Bi	14,48	59,4
11.	7,35	$7,35+0,015*t_{11,k}$	10	Ru	13,07	53,62
12.	7,5	$7,5+0,0375*t_{12,k}$	4	Hf	115,58	473,91
13.	7,65	$7,65+0,15*t_{13,k}$	12	Cu	54,85	224,92
14.	7,8	$7,8+0,01875*t_{14,k}$	8	Fe	24,1	98,81
15.	7,95	$7,95+0,010714285*t_{15,k}$	14	W	30,53	125,17
16.	8,1	$8,1+0,008823529*t_{16,k}$	17	Si	4,28	17,54
17.	8,25	$8,25+0,0125*t_{17,k}$	12	B	3,11	12,75
18.	8,4	$8,4+0,004*t_{18,k}$	25	Po	28,8	118,08
19.	8,5	$8,5+0,015384615*t_{19,k}$	13	Os	67,28	275,84
20.	9,0	$9,0+0,0125*t_{20,k}$	12	Te	55,09	225,86
21.	9,3	$9,3+0,02142851*t_{21,k}$	7	Be	4,42	18,12
22.	9,45	$9,45*0,03*t_{22,k}$	10	Zn	67,76	277,81
23.	9,75	$9,75+0,013636363*t_{23,k}$	11	Se	37,23	152,64
24.	10,2	$10,2+0,021428571*t_{24,k}$	7	S	23,72	97,25

Из таблицы 1 видно, что максимально массовые концентрации извлеченных РЗЭ из сточных вод реки Ак-Буура при ионизации воды электрическим током составляют элементы: Вк, Тб, Нf, Но и др.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Определены химический состав извлеченных РЗЭ из сточных вод реки Ак – Буура на основе электрофизической ионизации.

### Литература

1. Цивадзе А. Ю. Селективное разделение близких по свойствам химических элементов периодической таблицы – основа новых технологий // Вестник Российской академии наук, 2020, т.90, № 4, с. 320–330.

2. Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б. Редкоземельные металлы. М.: Металлургия, 1987.- 232 с.

3. Ягодин Г.А., Синегрибова О.А., Чекмарев А.М. Технология редких металлов в атомной технике. М.: Атомиздат, 1974.- 344 с.

4. Чиркст Д.Э., Черемисина О.В., Чаляян К.Н. Кристаллизация фосфатов и фторидов РЗМ из экстракционной фосфорной кислоты // Журнал прикладной химии. 1999. Т.72. №2. С.179-184.

5. Дибров И.А., Чиркст Д.Э., Черемисина О.В. Кинетика кристаллизации фосфатов и фторидов РЗМ из экстракционной фосфорной кислоты // Журнал прикладной химии. 1999. Т.72. №5. С.739-744.

6. Голуб А.М., Мулярчук И.Ф., Олявинский Т.И. Экстракция редкоземельных элементов трибутилфосфатом из нитратно-фосфатных систем // Журнал прикладной химии. 1968. Т.41. В.12. С.2757-2759.

7. Liangshi Wang, Zhiqi Long, Xiaowei Huang, Ying Yu, Dali Cui, Guocheng Zhang. Recovery of rare earths from wet-process phosphoric acid // Hydrometallurgy. 2010. V.101. Issues 1-2. P.41-47.

8. Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б. Редкоземельные металлы. М.: Металлургия, 1987, 232 с.

9. Ягодин Г.А., Синегрибова О.А., Чекмарев А.М. Технология редких металлов в атомной технике. М.: Атомиздат, 1974, 344 с.

10. Патент РФ №2104938. Способ извлечения редкоземельных элементов из фосфогипса. Вальков А.В., Вальков Д.А. Заявл.26.09.96; опубл.20.02.98.

11. Акматов Б.Ж. Исследование и разработка технологии очистки питьевой воды на основе электрофизической ионизации/Афтореф. диссертации на соискание ученой степени канд. тех. Наук, Ош, 2011.-20с.

12. Черемисина О.В., Чиркст Д.Э. Извлечение редкоземельных элементов из нетрадиционных источников сырья с использованием кристаллизационных процессов. В сб. «Материалы международного научно-практического семинара «Переработка и утилизация попутных фтористых соединений и извлечение редкоземельных металлов в производстве минеральных удобрений», М.: изд. НИУИФ, 2011, С.198-205.

13. Черемисина О.В. Извлечение цветных металлов из отходов металлургического производства и нетрадиционных источников сырья с использованием кристаллизационных и сорбционных процессов: автореферат дис...доктора тех.наук. – С-Пб: СПГГИ (ТУ), 2010. 40 С.

2. На основе технологии электрофизической ионизации произведены селективная ионизация элементов путем варьирования разных уровней потенциалов ионизации атомов химических элементов, входящих в состав сточных вод.

3. Выявлено, что при ЭФИ сточных вод количество концентрации извлеченных РЗЭ зависит от площади поверхности электродов и расстояния между электродами.