

EXTRACTION AND CONCENTRATION OF RHENIUM FROM NITRATE-CONTAINING RHENIUM DESORBATE

E.V. Zlobina¹, Zh.Zh. Bekishev^{1*}, A.G. Ismailova¹,
Kh.S. Tassibekov², Z.A. Iskakov³, B.Zh. Toksanbayev³,
A.T. Kumarbekova³, A.S. Fomenko³

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² 'A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences' JSC, Almaty, Kazakhstan

³ 'Institute of High Technologies' LLP, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: zhenis.bekishev@gmail.com

Abstract. *Introduction.* Extraction technology plays a key role in the industrial production of rhenium, accounting for more than 70% of the world's production of this element. In aqueous and alkaline solutions, rhenium is present in the form of the anion ReO_4^- , which necessitates the use of anion exchange extractants based on tertiary amines. Despite the widespread application and many years of research on rhenium extraction with amines, the obtained data remain contradictory. The extraction of rhenium from aqueous solutions by an amine extractant occurs through an anion exchange mechanism with the formation of the complex TAAHReO_4 . To increase the solubility of amine salts in the organic phase, high-molecular-weight aliphatic alcohols, such as decyl alcohol, are added, which act as modifiers of the organic phase without extracting rhenium themselves. *The aim of this work* is to investigate the extraction of rhenium with trialkylamine from a model solution that simulates the composition of nitrate desorbate obtained from the processing of uranium ores. Specifically, various factors affecting the extraction and re-extraction of rhenium are studied to determine the optimal parameters of these processes. The study uses trialkylamine as the extractant and decyl alcohol as the modifying additive. *The results* of the study show that the optimal parameters for rhenium extraction are: an extractant concentration of TAA:DA:kerosene=40:5:55 (% by volume), an organic to aqueous phase ratio of $V_{\text{org/aq}} = 1:5$, an extraction time of 5 minutes, and a rhenium extraction rate of up to 75%. Similar results were obtained with an extractant concentration of TAA:DA:kerosene = 30:10:60 and an extraction time of 5 minutes, where the rhenium extraction rate was about 74%. The re-extraction of rhenium is most efficiently carried out using an ammonia solution with a concentration of 114 g/L $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and a phase contact time of 10 minutes, with a re-extraction rate of 85.5%. Similar results were obtained with the addition of 174 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, where the rhenium re-extraction rate was 82%.

Keywords: rhenium, extraction, model solution, anion exchange extractant, modifier, rhenium-containing desorbate

Citation: Zlobina E.V., Bekishev Zh.Zh., Ismailova A.G., Tassibekov Kh.S., Iskakov Z.A., Toksanbayev B.Zh., Kumarbekova A.T., Fomenko A.S. Extraction and concentration of rhenium from nitrate-containing rhenium desorbate. *Chem. J. Kaz.*, **2024**, 3(87), 145-156. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-3.2710-1185.40>

<i>Zlobina Elena Viktorovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: elena.zlobina@kaznu.kz</i>
<i>Bekishev Zhenis Zhumakhanovich</i>	<i>Master of Technical Sciences; E-mail: zhenis.bekishev@gmail.com</i>
<i>Ismailova Akmaral Gazizovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: akmaral.ismailova@kaznu.kz</i>
<i>Tassibekov Khaidar Suleimenovich</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences; E-mail: kh.tassibekov@ihn.kz</i>
<i>Iskakov Zaken Alisherovich</i>	<i>Master of Chemical Sciences; E-mail: z.Iskakov@iht.kazatomprom.kz</i>
<i>Toksanbayev Bolatbek Zhakypbekovich</i>	<i>PhD of Technical Sciences; E-mail: b.toksanbaev@iht.kazatomprom.kz</i>
<i>Kumarbekova Almira Tursbekovna</i>	<i>Engineer of Metallurgy; E-mail: a.t.kumarbekova@iht.kazatomprom.kz</i>
<i>Fomenko Artyom Sergeevich</i>	<i>Master of Technical Sciences; E-mail: a.s.fomenko@iht.kazatomprom.kz</i>

ЭКСТРАКЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ РЕНИЯ ИЗ НИТРАТНОГО РЕНИЙСОДЕРЖАЩЕГО ДЕСОРБАТА

Е.В. Злобина¹, Ж.Ж. Бекишев^{1}, А.Г. Исмаилова¹, Х.С. Тасибеков², З.А. Искаков³, Б.Ж. Токсанбаев³, А.Т. Кумарбекова³, А.С. Фоменко³*

¹КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

³ТОО «Институт высоких технологий», Алматы, Казахстан

*E-mail: zhenis.bekishev@gmail.com

Резюме. *Введение.* Экстракционная технология занимает ключевую роль в промышленном производстве рения, обеспечивая более 70% мирового производства этого элемента. В водных и щелочных растворах рений присутствует в форме аниона ReO_4^- , что обуславливает использование анионообменных экстрагентов на основе третичных аминов. Несмотря на широкое применение и многолетние исследования экстракции рения аминами, полученные данные остаются противоречивыми. Экстракция рения из водных растворов аминным экстрагентом протекает по анионообменному механизму с образованием комплекса ТААНReO_4 . Для увеличения растворимости солей аминов в органическую фазу добавляют высокомолекулярные алифатические спирты, такие как дециловый спирт, которые играют роль модификаторов органической фазы, не экстрагируя рений. *Целью данной работы* является исследование экстракционного извлечения рения триалкиламином из модельного раствора, имитирующего состав нитратного десорбата, получаемого при десорбции рения с ионообменных смол уранового производства. В частности, исследуются различные факторы, влияющие на экстракцию и реэкстракцию рения, для определения оптимальных параметров этих процессов. В исследовании используется триалкиламин в качестве экстрагента и дециловый спирт как модифицирующая добавка. *В результате исследования* установлено, что оптимальные параметры экстракции рения составляют: концентрация экстрагента ТАА:ДС:керосин = 40:5:55 (% об.), соотношение органической и водной фаз $V_{\text{орг}}/V_{\text{водн}} = 1:5$, время экстракции 5 минут, степень извлечения рения достигает 75%. Аналогичные результаты были получены при концентрации экстрагента ТАА:ДС:керосин = 30:10:60 и времени экстракции 5 минут, где степень извлечения рения составила около 74%. Реэкстракция рения наиболее эффективно протекает при использовании раствора аммиака с концентрацией 114 г/л $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и временем контакта фаз 10 минут, степень реэкстракции составляет 85.5%. Сходные результаты были получены при добавлении 174 г/л $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, где степень реэкстракции рения составила 82%.

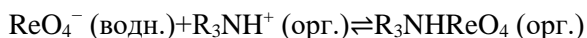
Ключевые слова: рений, экстракция, модельный раствор, анионообменный экстрагент, модификатор, рений содержащий десорбат.

<i>Злобина Елена Викторовна</i>	<i>Кандидат химических наук</i>
<i>Бекишев Женис Жумаханович</i>	<i>Магистр технических наук</i>
<i>Исмаилова Акмарал Газизовна</i>	<i>Кандидат химических наук</i>
<i>Тасибеков Хайдар Сулейменович</i>	<i>Кандидат химических наук</i>
<i>Искаков Закен Алишерович</i>	<i>Магистр химических наук</i>
<i>Токсанбаев Болатбек Жакыпбекович</i>	<i>PhD технических наук</i>
<i>Кумарбекова Альмира Турбековна</i>	<i>Инженер-металлург</i>
<i>Фоменко Артём Сергеевич</i>	<i>Магистр технических наук</i>

1. Введение

Экстракционная технология играет доминирующую роль в промышленном производстве рения, обеспечивая более 70% мирового производства первичного рения, что связано с применением жидкостной экстракции [1, 2]. В водных растворах различной кислотности, а также в щелочных растворах рений присутствует в форме аниона ReO_4^- , что делает анионообменные экстрагенты на основе третичных аминов наиболее подходящими для его извлечения [3]. Несмотря на многолетние исследования и широкое применение третичных аминов на практике, данные по их эффективности в экстракции рения противоречивы [4].

Основной экстракционный механизм заключается во взаимодействии перрената рения с триалкиламином (ТАА), который в органической фазе присутствует в протонированной форме $[\text{R}_3\text{NH}]^+$. Этот процесс можно описать следующим уравнением:



Экстракция рения из водных растворов минеральных кислот растворами аминов происходит по анионообменному механизму с образованием комплекса ТААНReO_4 в органической фазе [5]. Амины в молекулярной форме хорошо растворяются в различных органических растворителях, включая керосин, часто используемый в экстракционных процессах [6]. Такая анионообменная реакция приводит к образованию комплекса $[\text{R}_3\text{NH}]\text{ReO}_4$ в органической фазе, что способствует высокому уровню извлечения рения из водных растворов. Однако ключевым фактором для успешной экстракции является добавление децилового спирта (ДС), который действует как модификатор органической фазы. Высокомолекулярный алифатический спирт улучшает растворимость образующегося комплекса в органической фазе и предотвращает образование третьей фазы — это важно для стабильности системы. Однако соли аминов, образующиеся при контакте с минеральными кислотами, имеют ограниченную растворимость в большинстве органических растворителей, что требует добавления высокомолекулярных

алифатических спиртов, таких как дециловый спирт, для повышения растворимости [7]. Эти спирты служат модификаторами органической фазы и сами практически не экстрагируют рений [8]. Тем не менее, их взаимодействие с аминами снижает концентрацию экстракционного реагента, что может негативно сказаться на извлечении рения. Поэтому концентрация спиртов в составе экстрагента должна быть минимально допустимой, чтобы избежать образования третьей фазы [9].

Известно, что извлечение ReO_4^- в органическую фазу уменьшается в ряду кислот: $\text{H}_2\text{SO}_4 > \text{HCl} > \text{HNO}_3$ [10]. В литературе также упоминается применение трибутилфосфата (ТБФ) в качестве модификатора, предотвращающего выделение солей аминов и не снижающего коэффициент распределения рения, в отличие от спиртов [11]. Повышение концентрации триалкиламина в органической фазе и увеличение времени контакта фаз напрямую влияют на эффективность экстракции рения. Это связано с тем, что большее количество ТАА создает больше активных центров для связывания перренат-ионов, что увеличивает общую емкость экстрагента. Кроме того, увеличение соотношения органической и водной фаз ($V_{\text{орг}}/V_{\text{водн}}$) также улучшает экстракционный процесс, позволяя захватывать большее количество ионов рения.

Такой механизм, подкрепленный оптимальными условиями экстракции, как концентрация экстрагента и добавление модификаторов, обуславливает повышение степени извлечения целевого вещества и успешную переработку ренийсодержащих растворов.

Из органической фазы рений легко реэкстрагируется растворами аммиака. Присутствие в аммиачном реэкстракте сульфатов аммония может способствовать осаждению кристаллов перрената аммония благодаря высаливающему эффекту, что особенно важно при экстракции рения из бедных растворов с концентрацией менее 200-500 мг/л [12].

Целью настоящей работы является исследование экстракционного извлечения рения триалкиламином из модельного раствора, имитирующего состав нитратного десорбата, получаемого при десорбции рения с ионообменных смол уранового производства, а также изучение различных факторов, влияющих на этот процесс, и определение оптимальных параметров экстракции и реэкстракции рения [13].

2. Экспериментальная часть

2.1 Реактивы, оборудование, методика эксперимента

В качестве экстракционного реагента применяли триалкиламин (ТАА), в качестве модифицирующей добавки – дециловый спирт (ДС, деканол-1), в качестве разбавителя – авиационный керосин. Некоторые свойства использованных реагентов приведены в таблице 1.

Таблица 1- Физико-химические свойства экстрагентов и разбавителя

Название вещества	Формула	Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см ³
Триалкиламин (ТАА)	R ₃ N (R: C ₇ -C ₉)	354	0.81
Дециловый спирт (ДС)	CH ₃ (CH ₂) ₈ CH ₂ OH	158.3	0.83
Керосин	C _n H _{2n+2} (C ₉ -C ₁₆)		0.81

Растворы экстрагентов готовили следующим образом: с помощью пипет-дозаторов отбирали аликвотные части ТАА, ДС и керосина, полученную смесь перемешивали. Методика эксперимента по жидкостной экстракции состояла в следующем. В круглую плоскодонную колбу с высоким горлом добавляли рассчитанные количества ТАА, ДС, керосина, далее добавляли аликвотную часть 25,0 мл модельного раствора. Экстракцию проводили, встряхивая колбы вручную в течение 5 минут. По окончании экстракции водную и органическую фазы разделяли с помощью делительной воронки. Анализировали только водную фазу. Аналогичным образом проводили реэкстракцию рения: в колбу помещали аликвотную часть ренийсодержащего экстракта, добавляли равную аликвотную часть водного раствора реэкстрагента, органическую и водную фазы перемешивали вручную в течение 10 минут. После расслаивания фазы разделяли с помощью делительной воронки. Анализировали только водную фазу. Содержание рения в растворах после экстракции и реэкстракции определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на масс-спектрометре Agilent 7500a. Для получения градуировочных характеристик методом ИСП-МС применяли стандартный раствор для ИСП-МС - Multi-Element Calibration Standard – 4 с содержанием рения 10 мг/л (производство High-Purity Standards, США), из которого готовили градуировочные растворы.

Концентрацию рения в органической фазе после экстракции определяли по разности его концентраций в водной фазе до и после экстракции. Коэффициент распределения рения (D) рассчитывали по формуле (1), степень извлечения (R, %) рения рассчитывали по формуле (2), степень реэкстракции (R_{rex}, %) по формуле (3).

$$D = \frac{C(Re)_{орг}}{C(Re)_{водн}}$$

$$R = \frac{D \cdot 100}{D + \frac{V_{водн}}{V_{орг}}}$$

$$R_{rex} = \frac{C(Re)_{\text{водн}} \cdot V_{\text{водн}} / V_{\text{орг}}}{C(Re)_{\text{орг}}} \cdot 100$$

где, $C(Re)_{\text{водн}}$ – концентрация рения в водной фазе после экстракции, М;
 $C(Re)_{\text{орг}}$ – концентрация рения в органической фазе после экстракции,
 М;

$V_{\text{водн}}/V_{\text{орг}}$ – отношение водной части к органической части.

2.2 Приготовление модельного раствора

В работе был приготовлен модельный раствор, имитирующий состав нитратного ренийсодержащего десорбата, получаемого десорбцией с сильноосновной макропористой ионообменной смолы.

Для приготовления модельного раствора использовали следующие реактивы:

- перренат аммония NH_4ReO_4 ,
- нитрат аммония NH_4NO_3 , техн.,
- серная кислота (1:1) $\rho = 1,35 \text{ г/см}^3$,
- хлорид железа FeCl_3 ,
- хлорид натрия NaCl .

Содержание рения и железа в модельном растворе контролировали методом ИСП-МС.

Содержание серной кислоты определяли гравиметрическим методом с хлоридом бария.

Концентрацию нитрата аммония определяли потенциометрически с помощью нитрат-селективного электрода.

Концентрацию хлорид-ионов определяли титрованием хлоридом ртути. Составы рениевого десорбата и приготовленного модельного раствора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Состав растворов рениевого десорбата и модельного раствора

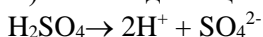
	Re, мг/дм ³	Fe, мг/дм ³	NH_4NO_3 , г/дм ³	H_2SO_4 , г/дм ³	Cl, г/дм ³
Состав усреднённого рениевого десорбата*	50±2	0.30±0.05	250±2	20±1	0.20±0.05
Состав модельного раствора	48	0.57	254	20.8	

*на основании отчёта ТОО «ИВТ».

2.3 Исследование экстракции рения из модельного раствора

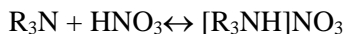
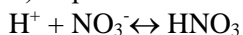
Исходя из состава модельного раствора, в котором присутствует значительное количество нитрата аммония, можно предположить протекание процессов, описываемых следующими уравнениями.

А) Полная диссоциация серной кислоты и нитрата аммония:

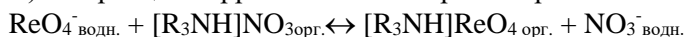




Б) образование нитрата триалкиламина:



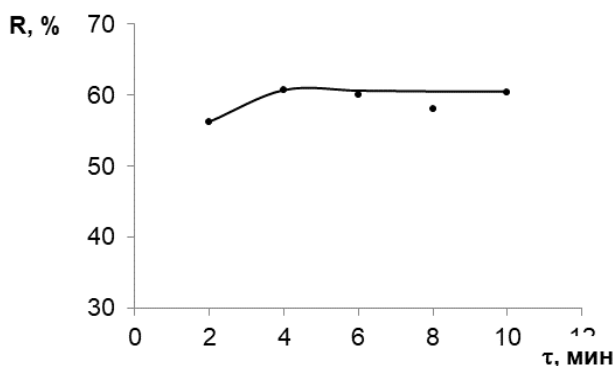
В) экстракция перренат-ионов нитратом триалкиламина:



На эффективность процессов экстракции рения ТАА будет влиять состав экстрагента и соотношение объёмов органической и водной фазы.

2.3.1 Влияние времени контакта фаз на извлечение рения

Исследование влияния времени контакта фаз на извлечение рения из модельного раствора проводили при варьировании времени в интервале 2 – 10 минут, в качестве экстрагента использовали смесь состава (% об.): ТАА:ДС:керосин = 30:10:60, соотношение О:В=1:10. Зависимость степени извлечения рения от времени контакта водной и органической фаз приведена на рисунке 1.



$t = 22\text{ }^\circ\text{C}$, О:В = 1:10, ТАА:ДС:керосин = 30:10:60, $C(\text{Re}) = 48\text{ мг/дм}^3$

Рисунок 1 – Влияние времени контакта фаз на экстракцию рения

Как следует из приведённых данных, равновесие в системе устанавливается в течение 4 минут. Дальнейшее увеличение времени экстракции не влияет на степень извлечения рения. Все последующие эксперименты по экстракции рения проводили при времени контакта фаз 5 минут.

2.3.2 Влияние концентраций триалкиламина и децилового спирта на извлечение рения

Исследовано влияние соотношения концентраций ТАА и ДС в экстрагенте на извлечение рения. В первой серии экспериментов экстракцию рения из модельного раствора проводили, изменяя

концентрацию ТАА, при этом концентрация децилового спирта оставалась постоянной и составляла 10 % об. Экстракцию проводили в течение 5 минут, соотношение органической и водной фаз составляло 1:10 и 1:5. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Экстракция рения из модельного раствора при варьировании концентрации ТАА в составе экстрагента
 $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau = 5\text{ мин}$; $C(\text{Re}) = 48\text{ мг/л}$

Соотношение ТАА:ДС:керосин, % об.	О:В	D	R, %	О:В	D	R, %
10 : 10 : 80	1 : 10	8.33	45.5	1 : 5	3.83	43.4
30 : 10 : 60		14.46	59.1		13.37	73.6
40 : 10 : 50		18.2	64.5		11.19	69.1

Как следует из данных, приведённых в Таблице 3, увеличение степени извлечения рения происходит при увеличении концентрации ТАА в составе экстрагента, а также при увеличении соотношения органической и водной фаз. Максимальной степени извлечения $\sim 74\%$ удаётся достичь при использовании экстрагента состава (% об): ТАА:ДС:керосин = 30:10:60 и соотношении О:В = 1:5. Концентрация ТАА 10 % является недостаточной, даже половину рения не удаётся извлечь в органическую фазу.

Во второй серии экспериментов экстракцию рения из модельного раствора проводили, изменяя концентрацию ТАА, при этом уменьшили концентрацию децилового спирта до 5 % об. Экстракцию проводили также при соотношении органической и водной фаз 1:10 и 1:5. Полученные результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Экстракция рения из модельного раствора при варьировании концентрации ТАА в составе экстрагента
 $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau = 5\text{ мин}$; $C(\text{Re}) = 48\text{ мг/л}$

Соотношение ТАА:ДС:керосин,% об.	О:В	D	R, %	О:В	D	R, %
30 : 5 : 65	1 : 10	11.09	52.6	1 : 5	9.63	65.8
40 : 5 : 55		24.6	71.0		14.95	75.0

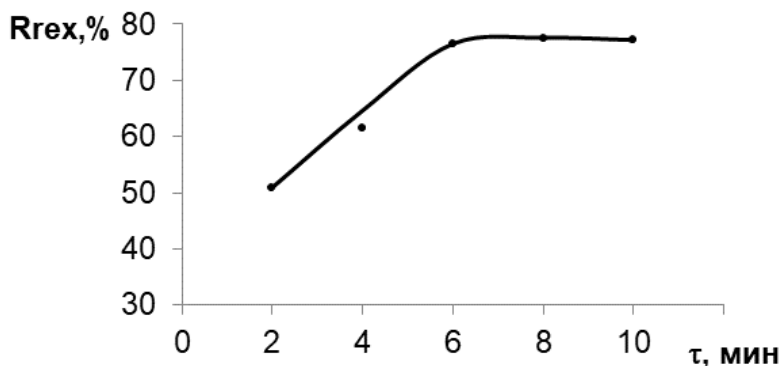
Как следует из данных, приведённых в Таблице 4, уменьшение концентрации децилового спирта в составе экстрагента привело к увеличению степени извлечения рения только в случае использования экстрагента с содержанием ТАА 40 %. Следует также отметить, что значительного увеличения степени извлечения рения даже в этом случае достичь не удалось.

2.4 Исследование реэкстракции рения

В качестве реэкстрагента рения из экстрактов на основе ТАА применяются растворы аммиака, а также смеси аммиака с солями аммония.

2.4.1 Влияние времени контакта фаз на реэкстракцию рения

Исследование влияния времени контакта фаз на реэкстракцию рения проводили из экстракта состава ТАА:ДС:керосин(Re) = 30:10:60(Re) при варьировании времени в интервале 2 – 10 минут, в качестве реэкстрагента использовали раствор состава 114 г/лNH₃·H₂O + 200 г/л (NH₄)₂SO₄. Зависимость степени реэкстракции рения от времени контакта органической и водной фаз приведена на рисунке 2.



t = 22 °С, О:В = 1:1, экстракт – ТАА:ДС:керосин(Re) = 30:10:60,
C(Re)_{орг.ф.} = 263 мг/л; реэкстрагент – 114 г/лNH₃·H₂O + 200 г/л (NH₄)₂SO₄

Рисунок 2 – Влияние времени контакта фаз на реэкстракцию рения.

Как следует из приведённых данных, равновесие в системе устанавливается в течение 6-7 минут. Дальнейшее увеличение времени экстракции не влияет на степень реэкстракции рения. Все последующие эксперименты по реэкстракции рения проводили при времени контакта фаз 10 минут.

2.4.2 Влияние концентрации сульфата аммония на реэкстракцию рения

Проведено исследование влияния концентрации сульфата аммония в реэкстрагенте на степень реэкстракции рения из экстракта состава (% об.) ТАА:ДС:керосин:Re = 30:10:60:Re. Основу реэкстрагента составлял раствор аммиака 114 г/л (или 12 %), в который вводили сульфат аммония. Концентрацию сульфата аммония варьировали в интервале 61,5 г/л – 256 г/л. Полученные данные приведены в таблице 4.

Таблица 5 – Результаты исследования реэкстракции рения экстракт: ТАА:ДС:керосин:Re = 30:10:60:Re, $C(\text{Re})_{\text{орг.ф.}} = 263$ мг/л; О:В = 1:1; $\tau = 10$ мин

Состав реэкстрагирующего раствора			Степень реэкстракции R_{rex} , %
$C(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$, г/л	$C((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$		
		г/л	%
114	-	-	85.5
	61.5	6	79.1
	106.5	10	79.5
	174.1	16	82.1
	200	18	77.0
	223.3	20	76.5
	256	22.5	76.5

Как следует из приведённых данных, лучших результатов реэкстракции рения удаётся достичь при использовании в качестве реэкстрагента раствора аммиака с концентрацией 114 г/л – степень реэкстракции рения составляет 85.5 %. Введение в состав реэкстракта сульфата аммония приводит к незначительному снижению степени реэкстракции. Зависимость $R_{\text{rex}}(\text{Re})$ от концентрации сульфата аммония проходит через максимум. Максимальная степень реэкстракции рения 82.1 % достигается при использовании реэкстрагента состава 114 г/л $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 174$ г/л $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

3. Выводы

1. Исследована экстракция рения из модельного раствора, имитирующего состав нитратного десорбата, получающегося при переработке урановых руд, в зависимости от концентрации экстракционного реагента (триалкиламин) и модифицирующей добавки (дециловый спирт) в составе экстрагента; времени экстракции, соотношения органической и водной фаз.

2. Оптимальные параметры экстракции: состав экстрагента (% об.): ТАА:ДС:керосин = 40:5:55; соотношение $V_{\text{орг.}} : V_{\text{водн.}} = 1 : 5$; время экстракции 5 минут, степень извлечения рения 75 %.

3. Схожие результаты получены при следующих условиях: состав экстрагента (% об.): ТАА:ДС:керосин = 30:10:60; соотношение $V_{\text{орг.}} : V_{\text{водн.}} = 1 : 5$; время экстракции 5 минут, степень извлечения рения ~74 %.

4. Исследована реэкстракция рения в зависимости от времени контакта фаз и состава реэкстрагента. Установлены оптимальные параметры процессов реэкстракции: состав реэкстрагента: 114 г/л (12.5 %) $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; время реэкстракции 10 мин; соотношение $V_{\text{орг.}} : V_{\text{водн.}} = 1 : 1$, степень реэкстракции 85,5 %.

5. Схожие результаты получены при следующих условиях: реэкстрагента: 114 г/л (12.5 %) $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 174$ г/л (16 %) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; время реэкстракции 10 мин; соотношение $V_{\text{орг.}} : V_{\text{водн.}} = 1 : 1$, степень реэкстракции 82 %.

Финансирование: работа выполнена по проекту «Разработка технологии попутного извлечения редких элементов (на примере рения) из технологических растворов добычных предприятий АО «НАК «Казатомпром» в рамках программы целевого финансирования научных исследований на 2023-2025 годы, реализуемой Комитетом науки МНВО РК, по программе BR18574219 «Разработка экологически безопасных технологий получения инновационной продукции из природного и техногенного сырья Казахстана».

Конфликт интересов: конфликт интересов между авторами отсутствует

НИТРАТТЫ РЕНИЙ ҚҰРАМДЫ ДЕСОРБАТТАН РЕНИЙДІ ЭКСТРАКЦИЯЛЫҚ АЛУ ЖӘНЕ КОНЦЕНТРАЦИЯЛАУ

*Е.В. Злобина*¹, *Ж.Ж. Бекишев*^{1*}, *А.Г. Исмаилова*¹, *Х.С. Тасибеков*², *З.А. Искаков*³, *Б.Ж. Токсанбаев*³, *А.Т. Кумарбекова*³, *А.С. Фоменко*³

¹ *Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

² *«Ә.Б. Бектұров атындағы Химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан*

³ *«Жоғары технологиялар институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан*

* E-mail: zhenis.bekishev@gmail.com

Түйіндеме. *Кіріспе.* Экстракциялық технология өнеркәсіптік рений өндіруде негізгі рөл атқарады, бұл элементтің әлемдік өндірісінің 70% -дан астамын қамтамасыз етеді. Рений сулы және сілтілі ерітінділерде ReO_4^- анионы түрінде болады, бұл үшінші ретті аминдер негізіндегі анион алмастырушы экстрагенттерді пайдалануды талап етеді. Ренийді аминдермен экстракциялау бойынша кеңінен қолданылуы мен көпжылдық зерттеулерге қарамастан, алынған деректер қайшылықты болып қалуда. Ренийдің сулы ерітінділерден аминді экстрагентпен экстракциясы TAANReO_4 кешенінің түзілуімен анион алмастырушы механизм бойынша жүреді. Амин тұздарының органикалық фазада ерігіштігін арттыру үшін, органикалық фазаның модификаторлары рөлін атқаратын, бірақ ренийді экстракцияламайтын, децил спирті сияқты жоғары молекулалық алифатикалық спирттер қосылады. Осы жұмыстың мақсаты - уран өндіруде ион алмастырушы шайырлардан ренийді десорбциялау кезінде алынған нитрат десорбатының құрамын имитациялайтын модельді ерітіндіден триалкиламинмен ренийді экстракциялық алуын зерттеу. Атап айтқанда, ренийді экстракциялау және қайта экстракциялау процестерінің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін әртүрлі факторлар зерттеледі. Зерттеуде экстрагент ретінде триалкиламин және модификатор қоспа ретінде децил спирті қолданылады. Зерттеу нәтижесінде ренийді экстракциялаудың оңтайлы параметрлері: экстрагент концентрациясы ТАА:ДС:керосин = 40:5:55 (%), органикалық және сулы фазалардың арақатынасы $V_{\text{орг/су}} = 1:5$, экстракция уақыты 5 минут, ренийді алу дәрежесі 75%-ға жетеді деп анықталды. Ұқсас нәтижелер экстрагент концентрациясы ТАА:ДС:керосин = 30:10:60 және экстракция уақыты 5 минут болған кезде алынды, мұнда ренийді алу дәрежесі шамамен 74% құрады. Ренийдің қайта экстракциясы ең тиімді түрде 114 г/л $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ концентрациясы бар аммиак ерітіндісін пайдалану және фазалармен 10 минуттық байланысу уақытымен жүзеге асырылады, қайта экстракция дәрежесі 85.5%-ды құрайды. Ұқсас нәтижелер 174 г/л $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ қосылған кезде алынды, мұнда ренийдің қайта экстракциясы дәрежесі 82% құрады.

Түйінді сөздер: рений, экстракция, модельді ерітінді, анион алмасу экстрагенті, модификатор, рений құрамды десорбат

<i>Злобина Елена Викторовна</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Бекишев Жеңіс Жұмаханұлы</i>	<i>Техника ғылымдарының магистрі</i>
<i>Исмаилова Ақмарал Ғазизқызы</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Тасибеков Хайдар Сүлейменұлы</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты</i>
<i>Искаков Эзкен Әлішерұлы</i>	<i>Химия ғылымдарының магистрі</i>
<i>Токсанбаев Болатбек Жақыпбекұлы</i>	<i>Техника ғылымдарының PhD</i>
<i>Қумарбекова Альмира Түрсекбаевна</i>	<i>Инженер-металлург</i>
<i>Фоменко Артём Сергеевич</i>	<i>Техника ғылымдарының магистрі</i>

References

1. F. A. Berdikulova and A. T. Ikhlasova. "Study of the process of rhenium extraction from lead slime," *Complex Use Min. Resour.*, **2020**, No. 3 (314), 22–27. <https://doi.org/10.1007/s11015-022-01413-z>
2. C. D. Anderson, P. R. Taylor, and C. G. Anderson. "Extractive metallurgy of rhenium: a review," *Miner. Metall. Process.*, **2013**, Vol. 30 (1), pp. 59–73. <https://doi.org/10.1007/s11015-021-01524-x>
3. T. Helbig et al. "Oxidative leaching of a sulfidic flue dust of former copper shale processing with focus on rhenium," *Minerals Engineering*, **2018**, Vol. 128, pp. 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.08.014>
4. J. Mizera et al. "New extraction chromatographic material for rhenium separation," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **2006**, Vol. 269, pp. 251–257. <https://doi.org/10.1007/s10967-006-0370-8>
5. K. L.-S. et al. "Hydrometallurgical Technology for Producing Rhenium(VII) and Cobalt(II) from Waste," *MDPI*, **2024**. <https://doi.org/10.3390/met14101456>
6. T. Helbig, S. Gilbricht, F. Lehmann, et al. "Oxidative leaching of a sulfidic flue dust of former copper shale processing with focus on rhenium," *Minerals Engineering*, **2018**, Vol. 128, pp. 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.08.014>
7. L. Karagiozov, C. Vasilev. "Separation of molybdenum and rhenium by extraction with mixtures of triethylamine and aliquat 336 followed by selective stripping," *Hydrometallurgy*, **1979**, Vol. 4, pp. 51–55. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(00\)82249-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(00)82249-2)
8. T. L. Zhou, X. Zhong, R. J. Ma, et al. "The amide type extractant A101 and its application to the separation of niobium and tantalum, and molybdenum and rhenium," *Hydrometallurgy*, **1982**, Vol. 8, pp. 379–388. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(82\)90064-1](https://doi.org/10.1016/0304-386X(82)90064-1)
9. S. Q. Yu, J. Y. Chen. "Mechanism of synergistic extraction of rhenium(VII) by primary amines and neutral phosphorus esters," *Hydrometallurgy*, **1985**, Vol. 14, pp. 115–126. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(85\)90063-4](https://doi.org/10.1016/0304-386X(85)90063-4)
10. R. Goddard, J.B. "Recovery of rhenium from uranium in-situ leach liquor," *Society of Mining Engineers Transactions of AIME*, Vol. 274, pp. **1996–2000**. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.08.014>
11. M.I. El Guindy "Processing of spent platinum-rhenium catalyst for rhenium recovery," *JOM Proceedings*, **1997**, pp. 89–97. <https://doi.org/10.1007/s11015-021-01524-x>
12. K. A. Morgan "Process for recovering rhenium," US Patent Application, No. 2,414,965, 1947. <https://doi.org/10.1021/jacs.6b00857>
13. Valentine A. Chanturiya, Tamara N. Matveeva, et al. "Substantiation of New Reagent Compositions for the Effective Extraction of Rhenium in the Processing of Complex Molybdenum Ores," *Minerals*, **2023**, Vol. 13(3), 372. <https://doi.org/10.3390/min13030372>