

# ЭКСТРАКЦИОННОЕ И СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕНИЯ(VII) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЛИГОДЕНТАТНЫХ β-АМИНОФОСФОРИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

© 2024 г. А. Н. Туранов<sup>1</sup>, В. К. Карандашев<sup>2</sup>, О. И. Артюшин<sup>3</sup>, Е. В. Смирнова<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> *Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна Российской академии наук,  
Черноголовка, 142432 Россия*

<sup>2</sup> *Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук,  
Черноголовка, 142432 Россия*

<sup>3</sup> *Институт элементоорганических соединений имени А. Н. Несмеянова Российской академии наук,  
Москва, 119334 Россия  
\*e-mail: matveeva@gmail.com*

Поступило в редакцию 19 мая 2024 г.

После доработки 22 июля 2024 г.

Принято к печати 25 июля 2024 г.

Изучено межфазное распределение микроколичеств  $\text{ReO}_4^-$  между водными растворами минеральных кислот и растворами олигодентатных β-аминофосфорильных соединений в органических растворителях. Определена стехиометрия экстрагируемых комплексов, рассмотрено влияние концентрации  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в водной фазе, структуры экстрагента и природы органического растворителя на эффективность перехода ионов  $\text{ReO}_4^-$  в органическую фазу. Показана возможность селективного извлечения и концентрирования  $\text{Re(VII)}$  комплексобразующим сорбентом, полученным путем нековалентного закрепления трис[бис(2-дифенилфосфорилэтил)аминоэтил]амин на поверхности макропористого полимера Amberlite XAD7HP.

**Ключевые слова:** экстракция, сорбция, рений(VII), аминофосфорильные соединения

**DOI:** 10.31857/S0044460X24040053, **EDN:** EBJMAU

## ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, рений и его сплавы широко используются в авиакосмической технике и нефтехимической промышленности. Поскольку рений является одним из наиболее редких элементов, в промышленном масштабе он добывается попутно при комплексной переработке сульфидных медных медно-молибденовых руд [1]. При пирометаллургической переработке такого сырья рений переходит в газовую фазу в виде  $\text{Re}_2\text{O}_7$  и улавливается раствором серной кислоты. В настоящее время промывная серная кислота является основным источником получения рения. В связи с

постоянным ростом спроса на рений, в последнее время также развиваются методы извлечения его из вторичного сырья – отработанных сплавов и катализаторов [2–4].

Для извлечения и концентрирования рения из сернокислых растворов широко используются экстракционные методы [4–10]. В последнее время интенсивно развиваются методы сорбционного концентрирования ионов металлов с использованием сорбентов, полученных нековалентным закреплением органических соединений, содержащих функциональные комплексобразующие группы, на полимерной матрице [11].

Сорбционные свойства таких материалов в значительной степени определяются комплексообразующими и экстракционными свойствами иммобилизованных органических реагентов по отношению к извлекаемым ионам. Высокой экстракционной способностью по отношению к Re(VII) обладают алифатические амины, нейтральные фосфорорганические соединения, краун-эфир и их ациклические аналоги – поданды, содержащие по концам полиэфирной цепи фосфорильные группы [12]. Это связано со способностью таких реагентов к протонированию в кислых средах и образованию гидрофобных катионных комплексов. Взаимодействие таких комплексов с анионом  $\text{ReO}_4^-$  способствует эффективному извлечению Re(VII) в органическую фазу в виде ионного ассоциата.

Показано, что полимерные сорбенты, импрегнированные третичными аминами, эффективно извлекают рений из сернокислых растворов [13, 14]. Ранее нами было показано, что эффективность экстракции Re(VII) аминами существенно возрастает при введении в молекулу амина фосфорильной группы [15, 16]. Это может быть связано с возможностью фосфорилированных аминов образовывать в кислых средах гидрофобные катионные комплексы, в которых осуществляются кооперативное взаимодействие донорных центров органического реагента с положительно заряженным катионом гидроксония.

Цель настоящей работы – исследование влияния строения олигодентатных  $\beta$ -аминофосфорильных соединений **1–8** (схема 1) на эффективность экстрак-

ции Re(VII) из растворов минеральных кислот, а также оценка возможности использования этих соединений в качестве активного компонента комплексообразующих сорбентов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

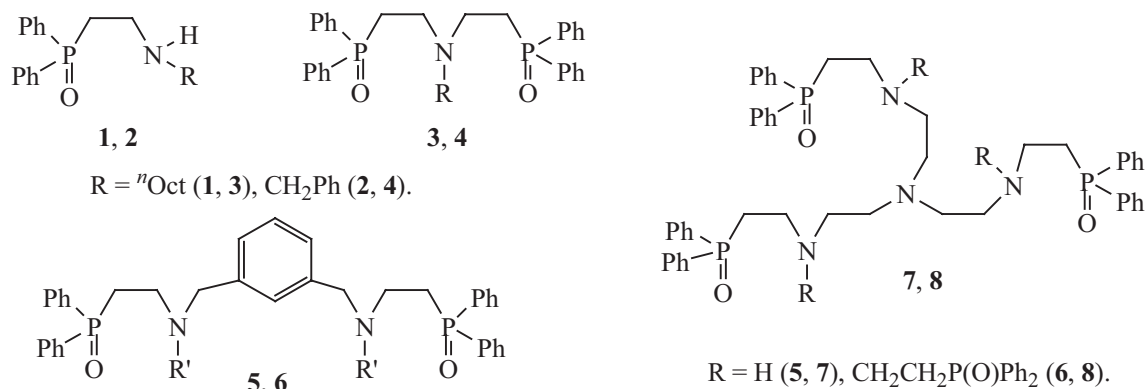
Рассмотрено влияние состава водной фазы на эффективность экстракции Re(VII) раствором соединения **8** в дихлорэтане. При постоянной концентрации ионов  $\text{Cl}^-$  в водной фазе зависимость коэффициента распределения рения ( $D_{\text{Re}}$ ) от pH равновесной водной фазы выражается кривой с максимумом (рис. 1). Увеличение  $D_{\text{Re}}$  с уменьшением величины pH связано с увеличением доли протонированной формы экстрагента (L) в органической фазе, что способствует экстракции Re(VII) в виде ионной пары  $\text{LH}^+\text{ReO}_4^-$  по анионообменному механизму:

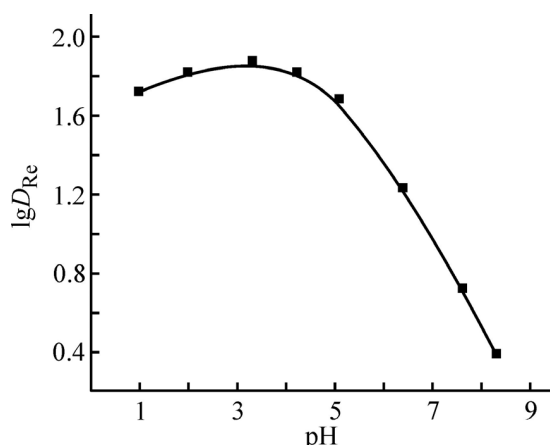


где символами (о) и (в) обозначены компоненты органической и водной фаз,  $\text{A}^-$  – анион минеральной кислоты. Дальнейшее уменьшение pH приводит к снижению  $D_{\text{Re}}$ , что связано с конкурирующей экстракцией кислоты – макрокомпонента экстракционной системы.

Изучение влияния концентрации  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в водной фазе на межфазное распределение Re(VII) при экстракции раствором соединения **8** показало, что увеличение концентрации кислот приводит к уменьшению  $D_{\text{Re}}$  (рис. 2). Это связано со

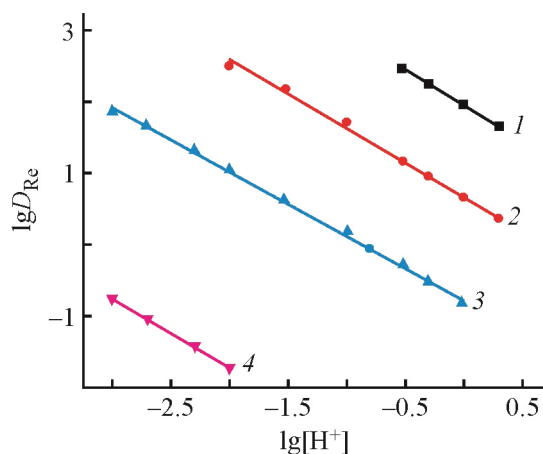
Схема 1.





**Рис. 1.** Зависимость коэффициента распределения рения от рН равновесной водной фазы при экстракции 0.0002 М. раствором соединения **8** в дихлорэтане при постоянной концентрации ионов Cl<sup>-</sup> (0.1 М.) в водной фазе.

смещением влево равновесия межфазного переноса ReO<sub>4</sub><sup>-</sup> в органическую фазу [уравнение (1)]. Эффективность экстракции Re(VII) из растворов кислот возрастает в ряду HClO<sub>4</sub> < HNO<sub>3</sub> < HCl < H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (рис. 2). Это связано с тем, что увеличение устойчивости комплексов ЛНА, препятствующее протеканию анионообменной реакции (1), происходит в ряду кислот H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> < HCl < HNO<sub>3</sub> < HClO<sub>4</sub>, вследствие



**Рис. 2.** Зависимость коэффициента распределения рения от концентрации ионов H<sup>+</sup> в равновесной водной фазе при экстракции 0.0002 М. раствором соединения **8** в дихлорэтане при экстракции из растворов H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1), HCl (2), HNO<sub>3</sub> (3) и HClO<sub>4</sub> (4).

**Таблица 1.** Коэффициенты распределения рения (lgD<sub>Re</sub>) между 0.1 М. раствором HCl и 0.0002 М. растворами соединения **8** в органических растворителях.

Растворитель	lgD <sub>Re</sub>
Нитробензол	2.89
1,2-Дихлорэтан	1.72
Хлористый метилен	1.32
Хлороформ	0.32
Толуол	-0.18

уменьшения энергии гидратации соответствующих анионов [17].

Природа органического растворителя оказывает существенное влияние на эффективность экстракции Re(VII). Величина D<sub>Re</sub> возрастает по мере увеличения полярности органического растворителя (табл. 1), что характерно для экстракции ионных ассоциатов. Аналогичная зависимость эффективности экстракции рения от природы органического растворителя получена при экстракции фосфорилированными аминами [15, 16].

Влияние строения реагентов **1–8** на эффективность экстракции Re(VII) рассмотрено путем сопоставления величин D<sub>Re</sub>, определенных в одинаковых экспериментальных условиях (табл. 2). Наиболее высокой экстракционной способностью по отношению к Re(VII) обладают гекса- и тетрафосфорилированные амины **8** и **6** соответственно. Уменьшение числа фосфорильных групп в молекулах этих соединений приводит к уменьшению D<sub>Re</sub> при экстракции трифосфорилированным амином **7** и дифосфорилированным *m*-ксилилендиамином **5**. Та-

**Таблица 2.** Коэффициенты распределения рения (lgD<sub>Re</sub>) между 0.1 М. раствором HCl и 0.001 М. растворами экстрагентов в дихлорэтане.

Экстрагент	lgD <sub>Re</sub>
<b>1</b>	1.08
<b>2</b>	0.37
<b>3</b>	1.15
<b>4</b>	1.14
<b>5</b>	0.56
<b>6</b>	2.0
<b>7</b>	1.61
<b>8</b>	2.30

кое же изменение в величинах  $D_{\text{Re}}$  наблюдается при переходе от дифосфорилированного бензиламина **4** к его монофосфорилированному аналогу **2**. Однако увеличение числа фосфорильных групп в молекуле экстрагента практически не изменяет экстракции Re(VII) при переходе от дифосфорилированного октиламина **3** к его монофосфорилированному аналогу **1**. Замена октильного радикала при атоме азота в соединении **1** на бензильный (соединение **2**) приводит к уменьшению  $D_{\text{Re}}$ . По-видимому, это связано с увеличением электроотрицательности заместителя при атоме азота, сопровождающимся уменьшением основности реагента.

Стехиометрическое соотношение Re(VII)–экстрагент в экстрагируемых комплексах, определенное методом разбавления, составляет 1:1 (рис. 3), что соответствует экстракции  $\text{ReO}_4^-$  в виде ионных ассоциатов по уравнению (1) в условиях избытка экстрагента. Кроме того, при избытке Re(VII) в органическую фазу переходят также комплексы  $\text{LH}_2^+(\text{ReO}_4^-)_2$  со стехиометрическим соотношением Re(VII):экстрагент = 2:1. На это указывают данные по насыщению раствора экстрагента рений(VII) (рис. 4).

Исследование селективности реагентов **8** и **6** показало, что при экстракции 0.01 М. растворами этих соединений в дихлорэтане из 1 М. раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  рений(VII) количественно извлекается в органическую фазу, а величины коэффициентов распределения Mo, W, Fe, Co, Ni, Mn, Cu, Zn и Cd не превышают 0.01. Это свидетельствует о высокой селективности этих реагентов.

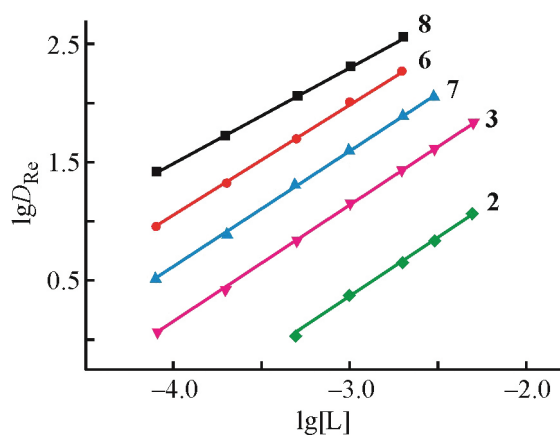


Рис. 3. Зависимость коэффициента распределения рения от концентрации экстрагентов **2**, **3**, **6–8** в дихлорэтане при экстракции из 0.1 М. растворов HCl.

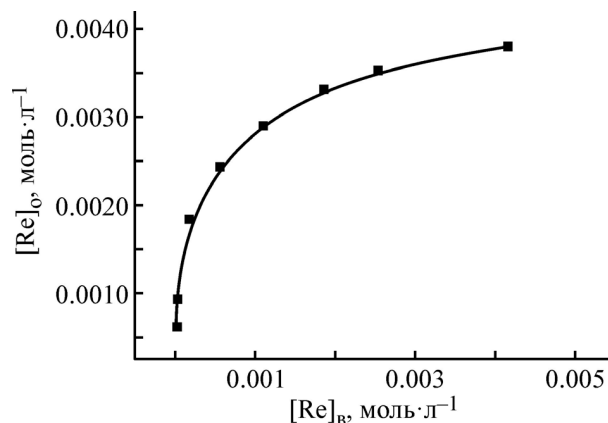


Рис. 4. Распределение Re(VII) между 0.1 М. раствором HCl и 0.002 М. раствором соединения **8** в дихлорэтане.

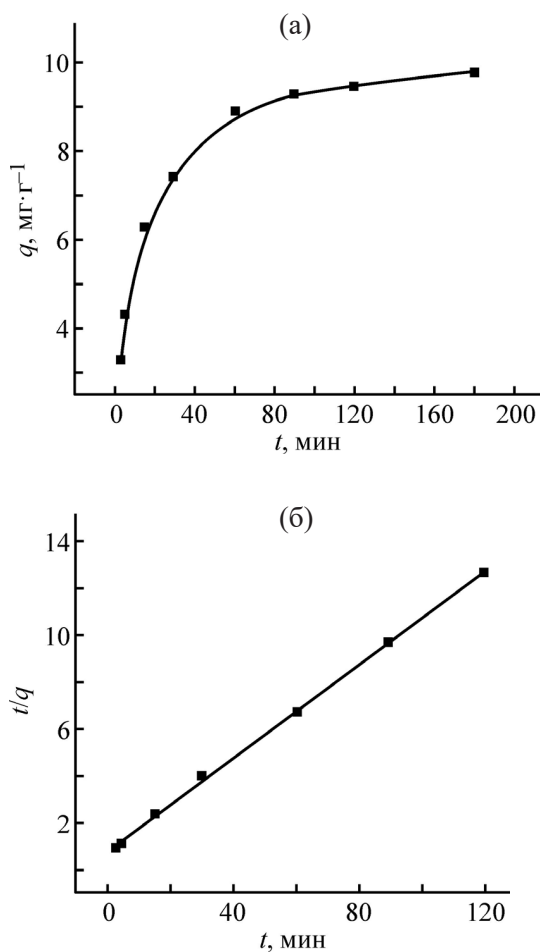


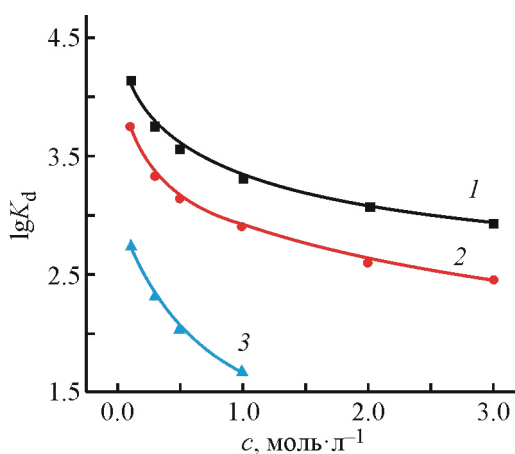
Рис. 5. Влияние времени контакта фаз на извлечение Re(VII) из 1 М. раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  полимерным сорбентом, модифицированным соединением **8** (а) при исходной концентрации рения 37.2 мг/л ( $V/m = 300$  мл/г) и зависимость  $t/q_t$  от  $t$  (б).

На основании исследования экстракционных свойств  $\beta$ -аминофосфорильных соединений соединение **8** было выбрано в качестве активного компонента комплексообразующего сорбента для извлечения Re(VII) из растворов кислот. Рассмотрение зависимости сорбции Re(VII) от времени контакта фаз (рис. 5) показало, что извлечение Re(VII) в фазу сорбента быстро возрастает в течение первых 10 мин, затем постепенно приближается к равновесию в течение 3 ч. Время, в течение которого исходная концентрация Re(VII) снижается в 2 раза ( $t_{1/2}$ ), составляет 7.5 мин. Приблизительно 90% максимальной сорбционной емкости сорбента достигается в течение 60 мин. Для описания кинетических зависимостей в процессе адсорбции Re(VII) использовали уравнения (2) и (3) [18] для псевдопервого и псевдovторого порядка реакции:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t, \quad (2)$$

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e, \quad (3)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – константы скорости,  $q_e$  и  $q_t$  (мг/г) – концентрация Re(VII) в фазе сорбента при равновесии и во время  $t$  (мин) соответственно. Линейный характер отмечен только для зависимости  $t/q_t$  от  $t$  (рис. 5б), что характерно для процессов хемосорбции [19]. Значения  $k_2$  и  $q_e$  составляют  $0.015 \pm 0.001$  и  $9.85 \pm 0.49$  г/(мг·мин).



**Рис. 6.** Зависимость коэффициента распределения рения от концентрации  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1),  $\text{HCl}$  (2) и  $\text{HNO}_3$  (3) в равновесной водной фазе при сорбции полимерным сорбентом, модифицированным соединением **8** при исходной концентрации рения 37.2 мг/л ( $V/m = 300$  мл/г).

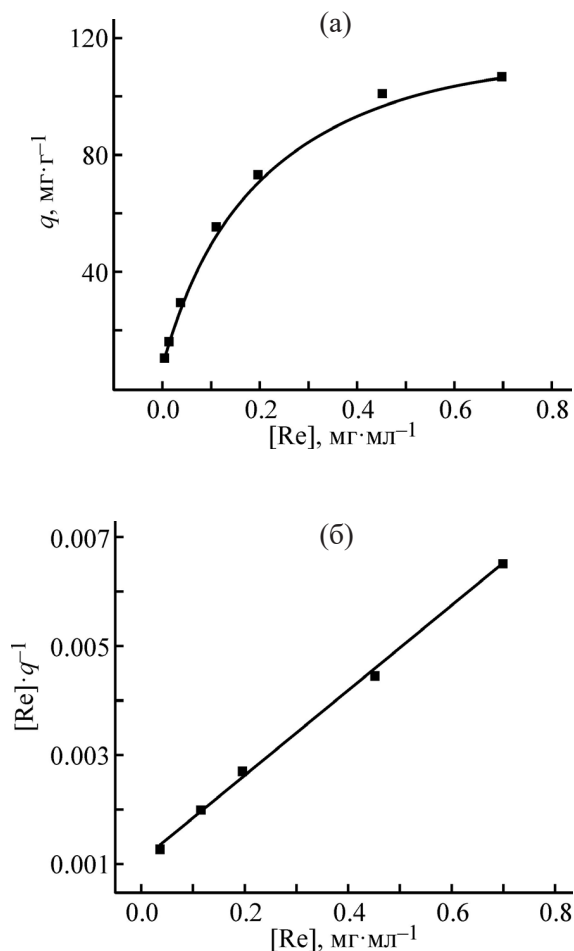
Вычисленное значение  $q_e$  хорошо согласуется с экспериментальным значением.

Как и при жидкостной экстракции, эффективность сорбции Re(VII) снижается с увеличением концентрации минеральных кислот в водной фазе и возрастает в ряду  $\text{HNO}_3 < \text{HCl} < \text{H}_2\text{SO}_4$  (рис. 6).

При постоянной концентрации  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в водной фазе изотерма адсорбции Re(VII) (рис. 7) описывается уравнением Лэнгмюра (4):

$$q_e = K q_m [\text{Re}] (1 + K [\text{Re}])^{-1}, \quad (4)$$

где  $[\text{Re}]$  (мг/мл) – концентрации рения в равновесной водной фазе,  $q_m$  (мг/г) – максимальная концентрация



**Рис. 7.** Распределение Re(VII) между 1 М. раствором  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и полимерным сорбентом, модифицированным соединением **8** ( $V/m = 200$  мл/г) (а) и зависимость  $[\text{Re}]/q_e$  от  $[\text{Re}]$  (б).

Re(VII) в фазе сорбента,  $K$  – константа равновесия. Значения  $q_m$  и  $K$ , определенные графически после линеаризации уравнения (4) в координатах  $[Re]/q_e - [Re]$  (рис. 7б), составляют  $107 \pm 6.4$  и  $10.5 \pm 0.73$  мл/мг соответственно. Определенное значение  $q_m$  соответствует стехиометрии сорбируемого комплекса Re:L = 2:1.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, представленные данные показали, что  $\beta$ -аминофосфорильные соединения обладают высокой экстракционной способностью по отношению к рению(VII). Комплексообразующий сорбент, полученный нековалентным закреплением трис[бис(2-дифенилфосфорилэтил)аминоэтил]аминна **8** на поверхности макропористого полимерного сорбента, эффективно извлекает Re(VII) из сернокислых растворов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Синтез соединений **1–8** описан в работах [20, 21]. В качестве органических растворителей использовали нитробензол, 1,2-дихлорэтан, хлористый метилен, хлороформ и толуол квалификации ХЧ или ЧДА без дополнительной очистки. Растворы экстрагентов в органических растворителях готовили по точным навескам. В качестве матрицы для приготовления комплексообразующего сорбента использовали макропористый полимер Amberlite XAD7HP. Методика нанесения соединения **8** на поверхность полимера аналогична описанной в работе [22]. Содержание экстрагента в сорбенте составляло 0.3 ммоль/г.

Исходные водные растворы готовили растворением перрената аммония в воде с последующим добавлением растворов  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  или  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до требуемой концентрации. Концентрация Re(VII) в исходных растворах составляла  $1 \cdot 10^{-5}$  и  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л при проведении экстракции и сорбции соответственно.

Опыты по экстракции и сорбции проводили в пробирках с притертыми пробками при температуре  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  и соотношении объемов органической и водной фаз 1:1. Распределение Re(VII) в сорбционных системах изучали в статических условиях при соотношении объема водного раствора и массы сорбента  $V/m = 50\text{--}500$  мл/г. Перемешивание фаз осуществляли с использованием роторного аппарата

со скоростью вращения 60 об/мин в течение 30 мин при экстракции и 3 ч при сорбции. Предварительно установлено, что этого времени достаточно для установления постоянных значений коэффициентов распределения рения.

Концентрацию рения в исходных и равновесных водных растворах определяли масс-спектральным методом с ионизацией пробы в индуктивно связанной плазме (ИСП-МС) с использованием масс-спектрометра XSeries II (Thermo Scientific, США). Концентрацию рения в органической фазе определяли по разнице концентраций в водном растворе до и после экстракции. Когда эта разница была мала, проводили реэкстракцию Re(VII) 0.1 М раствором аммиака. Коэффициенты распределения рения при экстракции ( $D_{\text{Re}}$ ) рассчитывали как отношение концентраций рения в равновесных фазах. Погрешность определения  $D_{\text{Re}}$  не превышала 10%. При проведении экспериментов по сорбции коэффициент распределения рения ( $K_d$ , мл/г) рассчитывали по уравнению (5).

$$K_d = [(c_0 - c_e)c_e^{-1}] \times V/m, \quad (5)$$

где  $c_0$  и  $c_e$  – концентрации Re(VII) в растворе до и после сорбции. Погрешность определения  $K_d$  не превышала 10%. Концентрацию  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в равновесных водных фазах определяли потенциометрическим титрованием стандартизованным раствором NaOH.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Туранов Александр Николаевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5064-191X>

Карандашев Василий Константинович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0684-272X>

Артюшин Олег Иванович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6333-5973>

Смирнова Екатерина Владимировна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7161-4793>

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственного задания Института физики твердого тела им. Ю.А. Осипяна РАН, Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых

материалов РАН и Института элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (№ 075-00277-24-00) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации с использованием научного оборудования Центра исследования строения молекул ИНЭОС РАН.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палант А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М., Костылев А.И. Технология рения. М.: ООО «Галлея – Принт». 2015. С. 172.
2. Касиков А.Г., Петрова А.М. // Технология металлов. 2010. № 2. С. 2.
3. Касиков А.Г., Петрова А.М. // Хим. технол. 2008. Т. 9. № 8. С. 376.
4. Shen L., Tesfaye F., Li X., Lindberg D., Taskinen P. // Minerals Eng. 2021. Vol. 161. P. 106719. doi 10.1016/j.mineng.2020.106719
5. Cheema H.A., Ilya S., Masud S., Mushan M.A., Mahnood I., Lee J.C. // Sep. Pur. Technol. 2018. Vol. 191. P. 116. doi 10.1016/j.seppur.2017.09.021
6. Petrova A.M., Kasikov A.G. // Hydrometallurgy. 2016. Vol. 165. P. 270. doi 10.1016/j.hydromet.2016.01.033
7. Srivastava R.R., Kim M., Lee J., Ilyas S. // Hydrometallurgy. 2015. Vol. 157. P. 33. doi 10.1016/j.hydromet.2015.07.011
8. Hong I., Liu M., Ma J., Yang G., Li L., Mumford K.A., Stevens G.W. // Sep. Pur. Technol. 2020. Vol. 236. P. 116281. doi 10.1016/j.seppur.2019.116281
9. Fang D.-W., Song Z.-R., Zhang S.-C., Li J., Zang S.-L. // J. Chem. Eng. Data. 2017. Vol. 62. P. 1094. doi 10.1021/acs.jced.6b00909
10. Zhou C.-B., Zhan D.-S. // J. Chem. Eng. Data. 2020. Vol. 65. P. 1468. doi 10.1021/acs.jced.9b00885
11. Kabay N., Cortina J.L., Trochimczuk A., Streat K.M. // React. Funct. Polymers. 2010. Vol. 70. P. 484. doi 10.1016/j.reactfunctpolym.2010.01.005
12. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Баулин В.Е. // ЖНХ. 2006. Т. 51. № 4. С. 735; Turanov A.N., Karandashev V.K., Baulin V.E. // Russ. J. Inorg. Chem. 2006. Vol. 51. N 4. P. 676. doi 10.1134/S0036023606040292
13. Трошкина И.Д., Веселова О.А., Вацура Ф.Я., Захарьян С.В., Серикбай А.У. // Изв. вузов. Цветн. металлург. 2017. № 5. С. 42. doi 10.17073/0021-3438-2017-5-42-49
14. Guo X., Ma Z., Li D., Yu D. // J. Mol. Liq. 2020. Vol. 297. 111901. doi 10.1016/j.molliq.2019.111901
15. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Яркевич А.Н. // ЖНХ. 2004. Т. 49. № 8. С. 1390.
16. Туранов А.Н., Карандашев В.К., Бондаренко Н.А. // ЖНХ. 2013. Т. 58. № 5. С. 668; Turanov A.N., Karandashev V.K., Bondarenko N.A. // Russ. J. Inorg. Chem. Vol. 58. P. 590. doi 10.1134/S0036023613050239
17. Шмидт В.С. // Усп. хим. 1987. Т. 56. № 8. С. 1387; Shmidt V.S. // Russ. Chem. Rev. 1987. Vol. 56. P. 792. doi 10.1070/RC1987v056n08ABEH003307
18. Yurdakos M., Seki Y., Karahan S., Yuedakos S.K. // J. Colloid Interface Sci. 2005. Vol. 286. P. 440. doi 10.1016/j.jcis.2004.12.047
19. Song Q., Ma L., Liu J., Bai C., Geng J., Wang H., Li B., Wang L., Li S. // J. Colloid Interface Sci. 2012. Vol. 386. P. 291. doi 10.1016/j.jcis.2012.07.070
20. Matveeva E.V., Petrovskii P.V., Klemenkova Z.S., Bondarenko N.A., Odinets I.L. // Comp. Rend. Ch. 2010. Vol. 13. P. 964. doi 10.1016/j.crci.2010.03.005
21. Matveeva E.V., Sharova E.V., Turanov A.N., Karandashev V.K., Odinets I.L. // Centr. Eur. J. Chem. 2012. Vol. 10. P. 1933. doi 10.2478/s11532-012-0124-0
22. Horwitz E.P., Dietz M.L., Nelson D.M., LaRosa J.J., Fairman W.D. // Anal. Chim. Acta. 1990. Vol. 238. P. 263. doi 10.1016/S0003-2670(00)80546-2

# Extraction and Sorption Recovery of Rhenium(VII) Using Oligodentate $\beta$ -Aminophosphoryl Compounds

A. N. Turanov<sup>a</sup>, V. K. Karandashev<sup>b</sup>, O. I. Artyushin<sup>c</sup>, and E. V. Smirnova<sup>c,\*</sup>

<sup>a</sup> *Yu. A. Osipyan Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences,  
Chernogolovka, 142432 Russia*

<sup>b</sup> *Institute of Microelectronics Technology and High Purity Materials, Russian Academy of Sciences,  
Chernogolovka, 142432 Russia*

<sup>c</sup> *A. N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 119334 Russia*

*\*e-mail: matveeva@gmail.com*

Received May 19, 2024; revised July 22, 2024; accepted July 25, 2024

The interphase distribution of microquantities of  $\text{ReO}_4^-$  between aqueous solutions of mineral acids and solutions of oligodentate  $\beta$ -aminophosphoryl compounds in organic solvents was studied. The stoichiometry of the extracted complexes was determined, the influence of the concentration of  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  and  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in the aqueous phase, the structure of the extractant and the nature of the organic solvent on the efficiency of the transition of  $\text{ReO}_4^-$  ions into the organic phase was considered. The possibility of selective extraction and concentration of  $\text{Re(VII)}$  with a complexing sorbent obtained by non-covalent attachment of tris[bis(2-diphenylphosphorylethyl)aminoethyl]amine on the surface of the macroporous polymer Amberlite XAD7HP was demonstrated.

**Keywords:** extraction, sorption, rhenium(VII), aminophosphoryl compounds