

УДК: 542.61:546,72:542

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2025.3.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИИ ЦИНКА ИЗ РАСТВОРОВ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ СМЕСЬЮ ДИАМИДОВ НЕОДЕКАНОВОЙ КИСЛОТЫ

© Ю. Ю. Гайнуллина^{1*}, Н. Г. Афзалетдинова², М. М. Цыкалова²

¹Уфимский университет науки и технологий

Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.

²Уфимский институт химии УФИЦ РАН

Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 71.

*Email: imashkova@mail.ru

Изучена экстракция цинка(II) из 1,0 моль/л раствора соляной кислоты смесью диамидов неодекановой кислоты в толуоле. Предположено, что цинк(II) при времени контакта фаз 5 мин и $C_{HCl} = 1,0$ моль/л экстрагируются по анионообменному механизму. Кондуктометрические измерения молярной электропроводности экстрактов цинка(II) показали, что они являются электролитами. Было показано, что при увеличении времени контакта фаз до 30 мин, цинк(II) из раствора с концентрацией соляной кислоты 1,0 моль/л извлекается в форме нейтрального комплекса ($\lambda = 5-10 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^2 \text{ моль}^{-1}$). Экстрагируемые хлорокомплексы цинка(II) с диамидом, выделенные при времени контакта фаз 5 и 30 мин, охарактеризованы методом ИК спектроскопии и элементного анализа. Результаты извлечения цинка(II) смесевым диамидом и дигексилсульфоксидом при $t_{\text{конт}} = 5$ мин указывают на их эффективность при совместном использовании в качестве экстрагентов.

Ключевые слова: диамиды неодекановой кислоты, цинк(II), экстракция, синергентная экстракция.

Введение

Цинк широко используется в промышленности для покрытия стальных изделий (оцинкование), в производстве сплавов и минеральных красок, для изготовления гальванических батарей, в резиновой промышленности и во многих других областях. Металл относится к элементам-токсикантам, поэтому необходим контроль над его содержанием в сточных водах и в объектах окружающей среды [1–4]. Он может поступать в геологическую среду с атмосферными выпадениями, отходами горной и тяжелой промышленности, при захоронении радиоактивных или размещении муниципальных отходов (свалки, удобрения). Токсичный металл накапливается в почвах и горных породах и миграирует в подземные воды.

При изменении условий окружающей среды миграция цинка(II) может резко увеличиться даже через много лет после его поступления и вызвать выброс в водоносные горизонты – так называемые «химические бомбы замедленного действия» [5–6]. В настоящее время цинк является четвертым по популярности металлом, и темпы его использования быстро возрастают за последние десятилетия. Из литературных данных известно, что цинк можно извлекать из растворов соляной кислоты такими экстрагентами, как LIX 622, и тетраоктилалкилендиамины из хлоридных сред [7–8]. В качестве экстрагентов хлорида цинка используются длинноцепочечные вторичные и третичные амины [9–10]. Авторы в работе [11] также исследовали экстракцию и отделение цинка(II) от меди(II) смесью активных компонентов LIX 984 (2-гидрокси-5-додецилсилицилальдоксим и 2-гидрокси-5-ногил-ацетофеноноксим) и D2EHPA (ди-(2-этилгексил) фосфорная кислота) из биологических растворов. В работе показана возможность отделения меди(II) от цинка(II) при применении в качестве экстрагента LIX 984. При извлечении цинка из сложных хлоридных растворов используют также анионообменные экстрагенты: вторичные амины (AmberliLA-2) или третичные (TAA) органические амины [12]. В настоящее время ведется активный поиск новых эффективных экстрагентов для извлечения цинка, среди которых можно отметить амидоамины [13].

Авторы в работе [14] рассмотрели возможность применения синергентной экстракции для отделения цинка(II) от кadmия(II) с применением смеси экстрагентов – трибутилfosфата и N 235 (триалкиламин-R₃N, R-C₈-C₁₀). Из анализа литературных данных следует, что работы по извлечению ионов цинка(II) из солянокислых растворов смесями диамидов неодекановой кислоты практически отсутствуют. Поэтому представляло определенный интерес исследование извлечения ионов цинка(II) из солянокислых растворов смесями диамидов, синтезированными в нашей лаборатории [15].

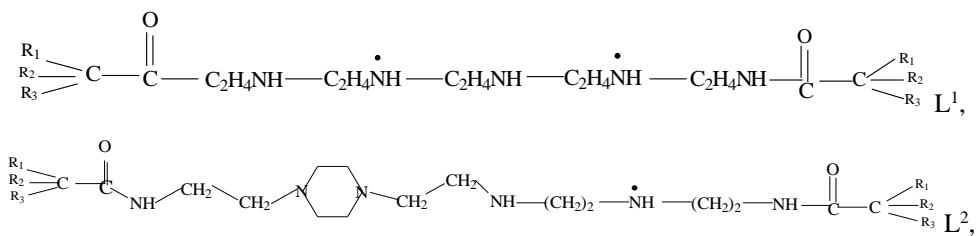
Объекты и методы исследования

Растворы цинка (II) готовили растворением гранулированного цинка (марки ЧДА с содержанием металла 99.9%) в растворе соляной кислоты (1:1) с последующим разбавлением дистиллированной водой до необходимых концентраций по HCl и по цинку(II). Концентрацию цинка(II) в исходных растворах и в водной фазе после экстракции определяли комплексонометрическим титрованием, (индикатор – эриохром черный Т, буферный раствор,

pH 10) [16]. Коэффициент распределения цинка(II) между органической и водной фазами рассчитывали по формуле $D_{\text{мс(III)}} = C_{\text{мс(III)орг.}} / C_{\text{мс(III)вод.}}$, где $C_{\text{мс(III)орг.}}$ и $C_{\text{мс(III)вод.}}$ – равновесные концентрации ионов цинка(II) в органической и водной фазах после экстракции.

Известно, что в области концентраций 2–3 моль/л по Cl^- иону 20% цинка(II) присутствует в виде катионных форм Zn^{2+} , ZnCl^+ , 70% – в виде нейтрального комплекса состава ZnCl_2 и только 10% цинка(II) приходится на отрицательно заряженные ионы ZnCl_3^- и ZnCl_4^{2-} [17].

В работе применяли свежеприготовленные растворы цинка. Концентрацию соляной кислоты в исходных растворах определяли титрованием 1.0 моль/л раствором KOH в воде (индикатор – метилоранж). В качестве реагента при изучении экстракции цинка(II) использовали смесь диамидов неодекановой кислоты на основе пентаэтиленгексамина (40%) и аминоэтилпиперазина (60%), синтезированную в лаборатории физико-химических методов анализа Уфимского института химии Уфимского федерального исследовательского центра РАН [17]:



где $R_1 + R^2 + R_3 = C_8H_{19}$.

Растворы реагента готовили по его точным навескам. Экстракцию проводили из свежеприготовленных растворов цинка при температуре (20 ± 0.5 °C) при соотношении водной и органической фаз 1:1. Перемешивание фаз осуществляли на магнитной мешалке типа R-3. Раздел фаз после перемешивания был четким и происходил в течение 1 мин после завершения контакта фаз. Электропроводность экстрактов и комплексов измеряли в ацетоне на кондуктометре типа ОК 102/1 фирмы «Radelkis» [18]. Электронные спектры поглощения регистрировали на приборе SpecordM 40. ИК-спектры экстрагируемого комплекса были записаны на спектрофотометре IR Prestige-21 (Fourier Spectrophotometer Shimadzu) в области $4000\text{--}400$ см⁻¹ в вазелиновом масле.

Результаты и их обсуждение

Предварительными опытами было изучено влияние концентрации соляной кислоты на извлечение цинка(II) из растворов соляной кислоты. Как видно из результатов, представленных на *рис. 1*, извлечение цинка(II) возрастает с ростом концентрации HCl и проходит через максимум, приходящийся на 1.0 моль/л. Увеличение извлечения цинка(II) с ростом концентрации соляной кислоты связано, вероятно, с изменением состава извлекаемых хлорокомплексов цинка(II), находящихся в растворах соляной кислоты.

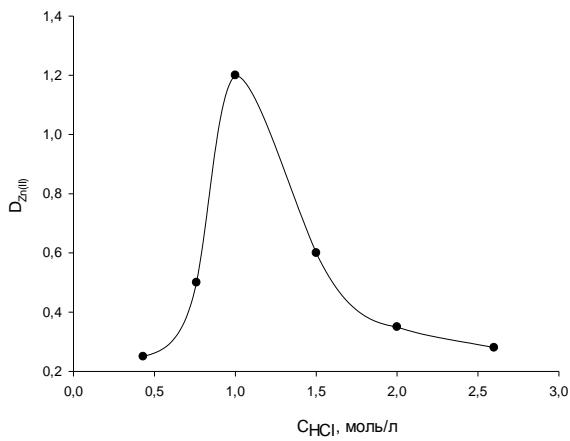


Рис. 1. Влияние концентрации соляной кислоты на извлечение цинка(II) раствором диамида в толуоле. $C_L = 0.14$ моль/л. $C_{Zn(II)} = 0.007$ моль/л. $t_{конт.} = 5$ мин.

Предварительными опытами было изучено влияние времени контакта фаз на установление экстракционного равновесия при извлечении Zn(II) из 1.0 моль/л HCl раствором смесевого экстрагента в толуоле. Экстракционное равновесие достигается в пределах 5 мин при извлечении цинка (II) (рис. 2). Все последующие опыты по экстракции цинка(II) осуществляли при оптимальных условиях извлечения данного металла: $t_{\text{конт.}} = 5$ мин, $C_{\text{HCl}} = 1.0$ моль/л.

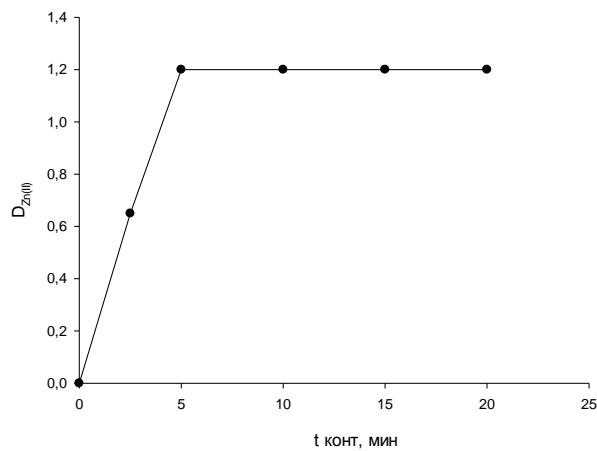


Рис. 2. Влияние времени контакта фаз на извлечение цинка(II) из 1.0 моль/л раствора соляной кислоты раствором диамидов в толуоле. $C_L = 0.14$ моль/л, $C_{Zn(II)} = 0.007$ моль/л.

Из анализа литературных данных [18] следует, что в пределах концентраций хлорид-ионов 1.0–2.0 моль/л нейтральная форма цинка состава $ZnCl_2$ является преобладающей (70%), а в области концентраций от 3.0 до 4.0 моль/л преобладающей формой цинка являются анионные формы цинка(II) состава $ZnCl_3^-$. Как следует из результатов, представленных на рис. 3, в интервале концентраций хлорид-ионов от 0.5 до 2.0 моль/л независимо от концентрации HCl в растворах идет снижение извлечения цинка(II), что вероятно, связано с разными формами нахождения хлорокомплексов цинка(II), в изучаемых растворах. Поэтому и коэффициенты экстракции цинка(II) до концентрации хлорид-ионов 2.0 моль/л уменьшаются, а с дальнейшим ростом концентрации хлорид-ионов $D_{Zn(II)}$ начинает медленно возрастать.

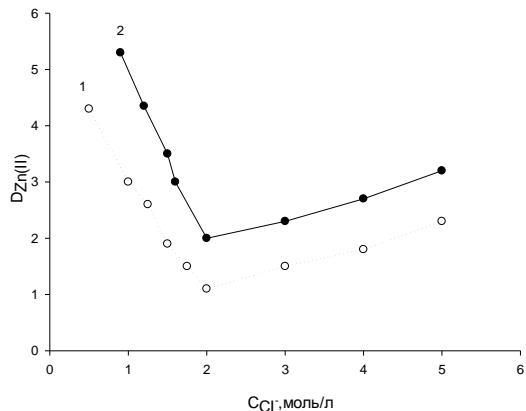


Рис. 3. Влияние концентрации хлорид-ионов на коэффициент распределения цинка(II). $C_{Zn(II)} = 0.007$ моль/л, $C_L = 0.14$ моль/л. $t_{конт.} = 5$ мин. 1 – $C_{HCl} = 0.5$ моль/л; 2 – $C_{HCl} = 1.0$ моль/л.

Для выяснения механизма извлечения хлорокомплекса цинка(II) раствором смесевого диамида в толуоле при экстракции из 1.0 моль/л раствора HCl также было изучено влияние концентрации ионов водорода на коэффициент распределения хлорокомплекса цинка(II) при постоянной ионной силе раствора, равной 1.5 (рис. 4). Постоянную ионную силу раствора поддерживали добавлением расчетных количеств хлорида натрия (от 1.5 до 0.0 моль/л). Концентрацию соляной кислоты варьировали от 0.5 до 1.5 моль/л. Тангенс угла наклона в логарифмических координатах зависимости $\lg D_{Zn} - \lg[H^+]$ равен единице ($\operatorname{tg}\alpha = 1.0$). Это позволяет предположить, что извлечение цинка(II) при времени контакта фаз, не превышающем 5 мин, осуществляется, вероятно, компонентами диамида в анионной форме.

Кондуктометрические измерения молярной электропроводности экстрактов цинка(II) со смесевым диамидом в ацетоне показали, что они являются электролитами ($\lambda_1 = 70.0\text{--}80.0$ Ом⁻¹ см² моль⁻¹). Это согласуется с литературными данными для интервалов значений молярной электропроводности для электролитов.

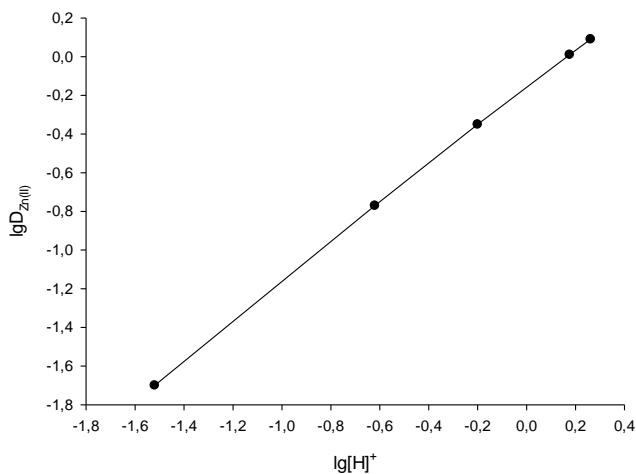


Рис. 4. Зависимость логарифма коэффициента распределения цинка(II) от логарифма концентрации ионов водорода. $C_L = 0.14$ моль/л. $C_{Zn(II)} = 0.007$ моль/л. $I = 1.5$. $t_{\text{конт.}} = 5$ мин. $\lambda = 80$ ом $^{-1}$ см 2 моль $^{-1}$.

Были сняты изотермы экстракции цинка(II) растворами смесевого диамида в толуоле из 1.0 моль/л раствора соляной кислоты при $t_{\text{конт.}} = 5$ мин (рис. 5). Сольватное число, определенное методом разбавления, было равно 2.

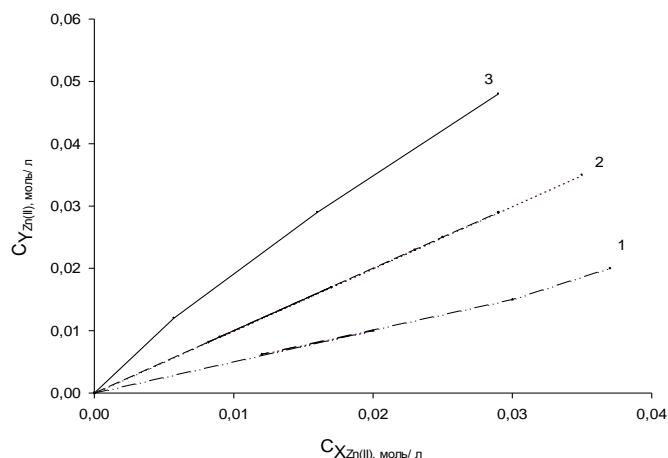
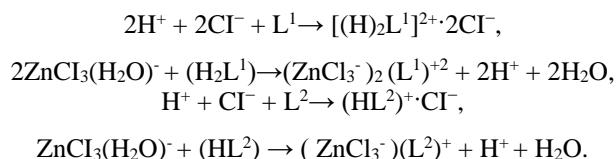
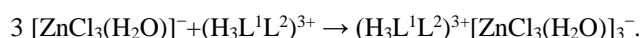


Рис. 5. Изотермы экстракции цинка(II) растворами смесевого диамида в толуоле. C_L , моль/л: 1 – 0,025; 2 – 0,05; 3 – 0,075. $t_{\text{конт.}} = 5$ мин.

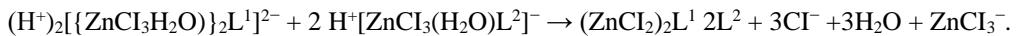
Нами было предположено, что при времени контакта фаз 5 мин экстракция осуществляется по ион-ассоциативному механизму. С учетом протонирования смесевого экстрагента, уравнения реакции экстракции цинка(II) можно представить следующим образом:



В общем виде уравнение извлечения ионов цинка(II) по ион-ассоциативному механизму можно представить следующим образом:



Ввиду сложности экстракционной системы расчет концентрационных констант экстракции цинка(II) смесевым диамидом произвести невозможно, несмотря на то, что они являются хорошими экстрагентами. Увеличение времени контакта фаз до 30 мин приводит к дальнейшему внедрению молекул экстрагента во внутреннюю координационную сферу хлорокомплексов цинка(II) по предлагаемому нами уравнению:



Зависимость логарифма коэффициента распределения цинка(II) от логарифма концентрации ионов водорода при времени контакта фаз 30 мин показала, что $\text{tg}\alpha = 0$, что также подтверждает нейтральный состав извлекаемого комплекса. Кондуктометрические измерения молярной электропроводности экстрактов цинка(II) со смесевым диамидом незначительны и составляют $10-15 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^2 \text{ моль}^{-1}$.

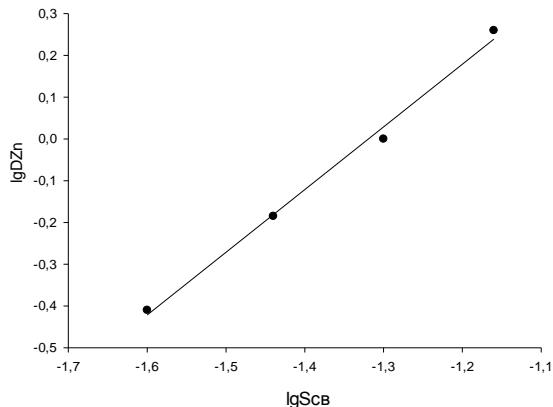
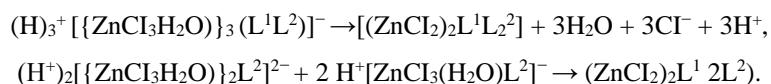


Рис. 6. Зависимость логарифма концентрации свободного экстрагента от логарифма коэффициента распределения цинка(II).
 $C_{HCl} = 1.0 \text{ моль/л. } C_{Zn(II)} = 0.001 \text{ моль/л. } q = 3. t_{\text{конт.}} = 30 \text{ мин.}$

Сольватное число с изменением механизма реакции при увеличении времени контакта фаз от ион-ассоциативного до сольватного может изменяться с 2 до 3. Методом сдвига равновесия из наклона прямой, построенной в координатах $\lg D_{Zn(III)} - f(\lg S_{cb})$, определено количество молекул экстрагента, входящих в состав извлекаемого соединения (рис. 6), которое оказалось равным трем. Мы предполагаем, что ионные ассоциаты, образовавшиеся по реакции, представленной выше, могут присоединять молекулы экстрагента, содержащие в своем составе кольцо, и образовывать комплекс более сложного состава с возможностью внедрения атомов азота экстрагентов во внутреннюю координационную сферу ионов цинка(II):



Для определения места координации молекул диамидов к иону цинка(II) были записаны ИК спектры экстрагента и его экстрагируемого ионного ассоциата, а также комплекса, выделенного при времени контакта фаз 30 мин. Результаты ИК-спектроскопических характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1

ИК спектроскопические характеристики смесевого диамида и его комплексов с цинком(II)

Соединение	$v(NH)$, см^{-1}	$v(CO)$, см^{-1}	$v(NH)$, см^{-1}	$v(CN)$, см^{-1}	λ , $\text{Ом}^{-1} \text{ см}^2 \text{ моль}^{-1}$
L	3375 ср.	1645 с.	1545 с.	1063	
Ионный ассоциат $(H_3L^1 L^2)^{3+}$	3355 ср.	1640 с.	1532 с.	1055 ср.	80
$[ZnCl_3(H_2O)]_3^-$					
Δ	20	5	12	8	
Комплекс $(ZnCl_2)_2 L^1 2L^2$	3341 ср.	1645 с.	1528 с.	1054 ср.	5,0
Δ	34	—	17	9	

Как видно из результатов, представленных в табл. 1, наибольшее смещение испытывают валентные колебания (NH) групп при 3375 см^{-1} на 20 и 34 см^{-1} .

Образование протонированных форм диамидов, связанных с извлечением ионных ассоциатов цинка(II), сопровождается изменениями в ИК спектре экстракта (табл. 1). Наибольшее смещение испытывают полосы поглощения валентных колебаний $v(NH)$, при 3375 до 3355 см^{-1} в ионном ассоциате и в комплексе соответственно, а также при 1545 до 1532 см^{-1} в ионном ассоциате и до 1528 см^{-1} в комплексе. Также выделенный ионный ассоциат обладает электропроводностью характерной для соединений такого типа.

При увеличении времени контакта фаз до ≥ 30 мин происходит постепенное внедрение молекул атомов азота лигандов во внутреннюю координационную сферу иона металла с образованием извлекаемого соединения предположенного нами состава $[(\text{ZnCl}_2)_2 \text{L}^1 \text{L}^2]$. Электропроводность раствора данного комплекса в сухом ацетоне также подтвердила нейтральный характер данного комплекса. Выделенный ионный ассоциат состава $(\text{H}_3\text{L}^1\text{L}^2)^{3+}$ $[\text{ZnCl}_3(\text{H}_2\text{O})]_3^-$ и комплекс $[(\text{ZnCl}_2)_2 \text{L}^1 \text{L}^2]$ были многократно промыты гексаном и водой от возможного избытка лиганда и соли цинка(II) и проанализированы на содержание цинка и ионов хлора. Проведенный анализ подтвердил соотношение данных элементов в ионном ассоциате и в комплексе.

Также для нас представляло интерес изучение синергентной экстракции цинка(II) смесью экстрагентов, состоящих из смесевого диамида и ДГСО, из раствора соляной кислоты с $C_{\text{HCl}} = 4,0$ моль/л. Извлечение цинка(II) смесевым экстрагентом представлено в табл. 2.

Таблица 2

Извлечение цинка(II) смесевым диамидом и дигексилсульфоксидом.
($C_L = 0,14$ моль/л). $C_{\text{HCl}} = 4,0$ моль/л. $t_{\text{конт.}} = 5$ мин. $C_{\text{Zn(II) исх}} = 0,03$ моль/л

Экстрагент (C_s), моль/л	$D_{\text{Zn}} = Y_{\text{Zn(II)}} / X_{\text{Zn(II)}}$	$\lambda, \text{Ом}^{-1} \text{см}^2 \text{моль}^{-1}$
Смесевый диамид + ДГСО	$D = 0,026 / 0,004 = 6,5$	10,8
Смесевый диамид	$D = 0,024 / 0,006 = 4,0$	12,7
ДГСО	$D = 0,02 / 0,01 = 2,0$	11,8

Из таблицы видно, что коэффициент экстракции цинка(II) с применением смесевого диамида вместе с ДГСО выше, чем коэффициент экстракции с применением смесевого диамида без ДГСО при одинаковых концентрациях экстрагентов. Также из рассмотрения результатов следует, что при равных концентрациях экстрагентов, а именно по 0,14 моль/л в толуоле, при извлечении цинка смесевым экстрагентом и ДГСО коэффициент экстракции ($D = 6,5$) выше по сравнению с ДГСО и только смесевым экстрагентом.

Выводы

Изучена экстракция цинка(II) из 1,0 моль/л раствора соляной кислоты смесевым диамидом. Найдены оптимальные условия извлечения: время контакта фаз, концентрация соляной кислоты. Предположено, что цинк(II) при времени контакта фаз 5 мин экстрагируется по анионообменному механизму при концентрации соляной кислоты 1,0 моль/л с образованием экстрагируемого соединения состава $(\text{H}_3\text{L}^1\text{L}^2)[\text{ZnCl}_3(\text{H}_2\text{O})]_2^-$. Сольватное число, определенное методом сдвига равновесия, оказалось равным 2,0. Кондуктометрические измерения молярной электропроводности экстрактов цинка с диамидом $C_L = 0,14$ моль/л, выделенных при экстракции из раствора с концентрацией соляной кислоты 1,0 моль/л показали, что они являются электролитами ($\lambda_1 = 70,0\text{--}80,0 \text{ Ом}^{-1} \text{см}^2 \text{моль}^{-1}$).

При увеличении времени контакта фаз до 30 мин цинк(II) из раствора с концентрацией 1,0 моль/л извлекается в форме нейтрального комплекса состава $(\text{ZnCl}_2)_2 \text{L}^1 \text{L}^2$. Методом сдвига равновесия из наклона прямой, построенной в координатах $\lg D_{\text{Zn(II)}} - f(\lg S_{\text{cb}})$ определено количество молекул экстрагента, входящих в состав извлекаемого соединения. Сольватное число, определенное разбавлением, оказалось равным 3. Кондуктометрические измерения молярной электропроводности экстрактов цинка(II) с диамидом в ацетоне показали, что они не являются электролитами ($\lambda_1 = 5,0\text{--}10,0 \text{ Ом}^{-1} \text{см}^2 \text{моль}^{-1}$). Экстрагируемые хлорокомплексы цинка(II), выделенные при времени контакта фаз 5 и 30 мин, охарактеризованы методом ИК спектроскопии и элементного анализа. Показано, что реэкстракция цинка(II) из органической фазы водой при экстракции из раствора соляной кислоты с концентрацией 1,0 моль/л осуществляется практически нацело. Извлечение цинка(II) смесевым диамидом и дигексилсульфоксидом при $t_{\text{конт.}} = 5$ мин, показало эффективность использования смесевого экстрагента и ДГСО для извлечения ионов цинка из раствора с концентрацией соляной кислоты $C_{\text{HCl}} = 4,0$ моль/л.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема №123011300044-5).

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Химия» УФИЦ УФИЦ РАН и Регионального центра коллективного пользования «Агидель» УФИЦ РАН.

Работа выполнена по теме государственного задания №123011300044-5.

ЛИТЕРАТУРА

- Гончарук В. В., Соболева Н. М., Носонович А. А. Физико-химические аспекты проблемы загрязнения почв и гидросферы тяжелыми металлами // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. Т. 11. №6. С. 795–809. [Goncharuk V. V., Soboleva N. M., Nosonovich A. A. Physicochemical aspects of the contamination of soil and hydrosphere with heavy metals // Chemistry for Sustainable Development. Vol 11. No. 6. P. 787–801].
- Добровольский В. В. Роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов // Природа. 2004. №7. С. 35–39. [Dobrovolsky V. V. The role of soil organic matter in the migration of heavy metals // Priroda. 2004. No. 7. P. 35–39. (In Russian)].
- Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2000. 232 с. [Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh., Valkov V. F. Ecological consequences of heavy metals contamination of soils. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2000. 232 p. (In Russian)].

4. Крайнов С. Р., Закутин В. П. Геохимико-экологическое состояние подземных вод России (причины и тенденции изменения химического состава подземных вод) // Геохимия. 1994. №3. С. 312–329. [Krainov S. R., Zakutin V. P. Geochemical and ecological state of groundwater in Russia (reasons and trends in changes in the chemical composition of groundwater) // Geokhimiya. 1994. No. 3. P. 312–329. (In Russian)].
5. Flyhammar P. Estimation of heavy metal transformations in municipal solid waste // Sci. of the Total Environ. 1997. Vol. 198. No. 2. P. 123–133.
6. Stigliani W. M. Chemical time bombs: definition, concepts, and examples: executive report 16 /. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 1991. 23 p. URL: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/ER-91-016.pdf>
7. Ramesh V., Rao G. N. Solvent extraction of metals with commercial oxime extractant (LIX 622) // Proc. Indian Acad. Sci. (Chem. Sci.). 1988. Vol. 100. No. 5. P. 359–361.
8. Железнов В. Экстракция металлов тетраоктилалкилендиаминами из сульфатохлоридных растворов: дисс. ... канд. хим. наук. Владивосток, 1999. 131 с. [Zheleznov V. V. Extraction of metals with tetraoctylalkylenediamines from sulfate chloride solutions: diss. ... cand. Of chem. sci. Vladivostok, 1999. 131 p. (In Russian)].
9. Межов Э. А. Экстракция аминами и четвертичными аммониевыми основаниями: справочник. М.: Атомиздат, 1999. 373 с. [Mezhov E. A. Extraction with amines and quaternary ammonium bases: reference book. M.: Atomizdat, 1999. 373 p. (In Russian)].
10. Усольцева Г. А. Экстракционные процессы в технологии свинца и цинка. Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева // Известия научно-технического общества «КАХАК». 2011. №1(31). С. 47–55. [Usoltseva G. A. Extraction processes in lead and zinc technology. Kazakh National Technical University named after K. I. Satpayev // Izvestiya Nauchno-tehnicheskogo Obshchestva "KAHAK". 2011, No. 1(31). P. 47–55. (In Rusian)].
11. Lan Shouyu, Hu Yue-Hua, Liu Jian-She, Wang Jun. Solvent extraction of copper and zinc from bioleaching solutions with LIX984 and D2EHPA // J. Cent. South Univ. Technol. 2005. Vol. 12. No. 1. P. 45–49.
12. Cole P. M., Sole K. C. Zinc Solvent Extraction in the Process Industries // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2003. Vol. 24. P. 91–137.
13. Ellis R. J., Chartres J., Tasker P.A., Sole. K. C. Amide-functionalized aliphatic amine extractants for Co(II) and Zn(II) recovery from acidic chloride media// Solvent Extraction and Ion Exchange. 2011. Vol. 29. No. 5–6. Special Issue in Honor of Dr. Douglas S. Flett: Progress in Hydrometallurgical Applications. P. 657–672. DOI: 10.1080/07366299.2011.595631.
14. Qiong Jia, Wu Jie, Li Ting, Zhou Wei-Hong. Sinergistic extraction of Zn(II) by mixture of tri-butyl-phosphate and trialkyl amine extractant // Chinese J. Anal. Chem. 2008.Vol. 36. No. 5. P. 618–622.
15. Бондарева С. О., Абдуллин М. Ф., Нугуманов Т. Р. Диамиды неодекановой кислоты как ингибиторы кислотной коррозии низкоуглеродистой стали // Журнал прикладной химии. 2023. Т. 96. Вып. 3. С. 297–304. [Bondareva S. O., Abdullin M. F., Nugumanov T. R. Neodecanoic acid diamides as inhibitors of acid corrosion of low-carbon steel // Journal of Applied Chemistry. 2023. T. 96. Vol. 3. P. 297–304. (In Russian)].
16. Крешков А. П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ. М.: Изд-во химия, 1971. Т. 2. 386 с. [Kreshkov A. P. Fundamentals of analytical chemistry. Theoretical foundations. Quantitative analysis. Moscow: Khimiya. 1971. T. 2. P. 386 p. (In Russian)].
17. Maeda M., Ito T., Hon M., Johansson G. The structure of zinc chloride complexes in aqueous solutions // Z. Naturforsch. 1996. Vol. 51a. No. 1–2. P. 63–70. DOI: 10.15.15/zna-1996-1-210.
18. Кукушкин Ю. Н. Химия координационных соединений. Уч. пособие для студентов хим. и хим.-технол. спец. вузов. М.: Выш. шк., 1985. 435 с. [Kukushkin Yu. N. Chemistry of coordination compounds. Teaching manual for students of chemical and chemical-technological specialties. Moscow: Vysshaya Skola. 1985. 435 p.]

Поступила в редакцию 13.03.2025 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2025.3.5

**STUDY OF ZINC(II) EXTRACTION FROM HYDROCHLORIC ACID SOLUTIONS
WITH THE MIXTURE OF NEODECANOIC ACID DIAMIDES**

© J. Yu. Gaynullina^{1*}, N. G. Afzaletdinova², M. M. Tsykalova²

¹*Ufa University of Science and Technology
32, Zaki Validi st., 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

²*Ufa Institute of Chemistry, Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
71, Oktyabrya Ave., 450054 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

**Email: umashkova@mail.ru*

The extraction of zinc(II) from a 1.0 mol/l hydrochloric acid solution with a mixture of neodecanoic acid diamides in toluene was studied. It is assumed that zinc(II) with a phase contact time of 5 min and $C_{HCl} = 1.0 \text{ mol/l}$ is extracted by the anion exchange mechanism. Conductometric measurements of the molar electrical conductivity of zinc(II) extracts showed that they are electrolytes. When the phase contact time is increased to 30 minutes, zinc(II) is extracted from a solution with a concentration of HCl 1.0 mol/l in the form of a neutral complex $\lambda = 5-10 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ mol}^{-1}$). Extractable chlorocomplexes of zinc(II) with diamide, isolated at phase contact times of 5 and 30 minutes, were characterized by IR spectroscopy and elemental analysis. Extraction of zinc(II) by mixed diamide and dihexyl sulfoxide at $t_{\text{cont.}} = 5 \text{ min}$ showed their effectiveness.

Keywords: neodecanoic acid diamides, zinc(II), extraction, synergistic extraction.

Received 13.03.2025.

Об авторах / About the authors

АФЗАЛЕТДИНОВА Насима Гимадисламовна
Уфимский институт химии РАН, Россия
к. х. н., ведущий инженер
лаборатории физико-химических методов анализа
gans@anrb.ru

ЦЫКАЛОВА Марина Максимовна
Уфимский институт химии РАН, Россия
инженер
лаборатории физико-химических методов анализа
zykalova_marina@mail.ru

ГАЙНУЛЛИНА Юлия Юрьевна
Уфимский университет науки и технологии, Россия
кандидат химических наук, доцент
кафедры аналитической химии химического факультета
umashkova@mail.ru

AFZALETDINOVA Nasima Gimadislamovna
Ufa Institute of Chemistry of RAS, Russia
Candidate of Chemical Sciences, Leading Engineer
of the Laboratory of Physical and Chemical Methods of Analysis
gans@anrb.ru
ORCID: 0000-0003-2021-4703

TSYKALOVA Marina Maximovna
Ufa Institute of Chemistry of RAS, Russia
Engineer
of the Laboratory of Physical and Chemical Methods of Analysis
zykalova_marina@mail.ru

GAINULLINA Yuliya Yurievna
Ufa University of Science and Technology, Russia
Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
of the Department of Analytical Chemistry
umashkova@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5266-0057