

УДК: 542.422.3

DOI 10.17072/2223-1838-2021-4-223-233

Д. О. Шильковская¹, А. М. Елохов²,¹Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, Пермь, Россия²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия**ЭКСТРАКЦИОННО-СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИКЕЛЯ С 4-(2-ПИРИДИЛАЗО)РЕЗОРЦИНОМ В СИСТЕМЕ НЕОНОЛ АФ 9-10 – ВОДА**

Визуально-политермическим методом исследованы фазовые равновесия в системе неонол АФ 9-10 – вода и установлена величина нижней критической температуры растворения – 68°C. С целью оценки экстракционной способности системы изучено межфазное распределение ряда органических реагентов и установлено, что увеличение гидрофильности реагента приводит к снижению его коэффициента распределения. Предложена экстракционно-спектрофотометрическая методика определения 1,2–2,4 мг/л никеля с 4-(2-пиридилазо)резорцином (ПАР) в системе неонол АФ 9-10 – вода. Методами насыщения и изоляционных серий установлено, что соотношение никель : ПАР в комплексном соединении равно 1 : 2.

Ключевые слова: жидкостная экстракция; спектрофотометрия; комплексообразование; неонол АФ 9-10; 4-(2-пиридилазо)резорцин; никель

Поступила в редакцию 1.10.2021; принята к публикации 25.10.2021

D. O. Shilykovskaya², A. M. Elokhov¹,¹Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia²Perm State University, Perm, Russia**EXTRACTION-SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF NICKEL WITH 4-(2-PYRIDYLAZO) RESORCINOL IN THE NEONOL AF 9-10 – WATER SYSTEM**

Phase equilibria in the neonol AF 9-10 – water system were studied using the visual-polythermal method. Value of lower critical dissolution temperature was determined (68°C). In order to assess the extraction capacity of system, the distribution of number of organic reagents was studied. It was found that increase in reagent hydrophilicity leads to decrease in its distribution coefficient. An extraction-spectrophotometric method for the determination of 1,2–2,4 mg/l nickel with 4-(2-pyridylazo) resorcinol (PAR) in the neonol AF 9-10 – water system has been proposed. It was found that ratio of nickel : PAR in the complex compound is 1 : 2.

Key words: liquid-liquid extraction; spectrophotometry; complexation; nenol AF 9-10; 4-(2-pyridylazo) resorcinol; nickel

Received 1.10.2021; accepted 25.10.2021

©Шильковская Д.О., Елохова А.М., 2021



Данная статья распространяется на условиях лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная

Проблема токсичности и пожароопасности органических растворителей, используемых в экстракционно-фотометрическом методе анализа, решается применением ионных жидкостей [1, 2], глубоко-эвтектических растворителей [3, 4] или поверхностно-активных веществ [5–7]. Наибольшее распространение при этом получили неионные ПАВ – оксиэтилированные октилфенолы [8, 9], нонилфенолы [10, 11] и моноалкилполиэтиленгликоли [12]. Однако использование ионных ПАВ в качестве экстрагента [13, 14] или добавок микроколичеств ионных ПАВ к экстрактам на основе неионных ПАВ [15, 16] позволяет в ряде случаев существенно улучшить спектрофотометрические характеристики комплексных соединений с ионами металлов и, следовательно, чувствительность анализа.

В последние годы в качестве потенциальных экстрагентов ионов металлов и органических веществ рассматриваются промышленно выпускаемые оксиэтилированные нонилфенолы торговой марки «Неонол». Ранее подробно исследованы закономерности экстракции ионов металлов в системах на основе неонола АФ 9-12 [10, 17, 18], недостатком которого является относительно высокая температура помутнения водных растворов (84°C), в результате чего требуется применение высаливателей для получения расслаивающихся систем. Неонолы АФ 9-9 и АФ 9-10, температура расслаивания водных растворов которых ниже, чем у неонола АФ 9-12, применялись лишь для экстракции фенола [19, 20], поэтому представляло интерес установить возможность концентрирования и определения ионов металлов в системе неонол АФ 9-10 – вода в присутствии органических реагентов.

Объекты и методы исследования

В работе использованы: неионный ПАВ неонол АФ-9-10 (оксиэтилированный нонилфенол, $C_9H_{19}C_6H_4O(CH_2CH_2O)_{10}H$, ТУ 2483-077-05766801-98), органические комплексообразующие реагенты: арсеназо III, арсеназо I, 4-(2-пиридилазо)резорцин (ПАР), 1-(2-пиридилазо)-2-нафтол (ПАН), хромазурол S, эриохром черный Т (ЭХЧТ), ксиленоловый оранжевый, сульфарсазен, нитрозо-R-соль, ализарин-комплексон, бериллон II, хромпиразол I квалификации «ч.д.а.»; гептагидрат сульфата никеля, пентагидратсульфата меди (II), гептагидрат сульфата кобальта квалификации «х.ч.». Растворы реагентов и солей металлов с концентрацией 10^{-3} моль/л готовили растворением точных навесок в дистиллированной воде или этаноле.

Для политермического изучения растворимости в двойной системе неонол АФ 9-10 использовали визуально-политермический метод, заключающийся в фиксации появления устойчивой опалесценции смесей-навесок при нагревании. Точность измерений составляла $\pm 1^\circ C$. На основании полученных данных для каждого сечения строили графические зависимости температур фазовых переходов от содержания одного из компонентов смеси (политеры), по которым методом графической интерполяции строили изотермические фазовые диаграммы. Относительная погрешность определения растворимости составляла $\pm 0,5\%$ [21].

Для экстракции органических комплексообразующих реагентов и ионов металлов с ПАР использовали градуированные пробирки с притертой пробкой. В пробирку вносили 1,00 г неонола АФ 9-10 и расчетные объемы 10^{-3} моль/л растворов органического реагента

и, при необходимости, иона металла, после чего добавляли дистиллированную воду до объема 20 мл. Полученную смесь тщательно перемешивали и выдерживали в термостате с температурой 85°C до просветления образовавшихся фаз (15–20 мин), после чего пробирки охлаждали проточной водой, и фазы разделяли.

Степень извлечения (R , %) и коэффициент распределения (D) органических реагентов рассчитывали по данным величины оптической плотности рафината, которую измеряли на приборе UNICO 2100 в стеклянных кюветках с толщиной поглощающего слоя 1,0 см:

$$D = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \cdot \frac{V_{\text{раф}}}{V_o}, \quad R = \frac{D}{D + (V_{\text{раф}} / V_o)},$$

где A_1 и A_2 – оптические плотности рафината после экстракции и рафината с добавкой распределяемого реагента, соответственно; V_o и $V_{\text{раф}}$ – равновесные объемы экстракта и рафината, мл.

При разработке спектрофотометрической методики экстракт разбавляли дистиллированной водой до объема 5,0 мл с целью снижения вязкости раствора. Спектры светопоглощения регистрировали на приборе СФ-2000, оптическую плотность при разработке спектрофотометрической методики измеряли на приборе UNICO 2100. Использовали стеклянные кюветы с толщиной поглощающего слоя 1 см.

Для определения состава комплексного соединения никеля с ПАР, а также константы нестойкости использовались стандартные методы – насыщения, изомолярных серий и разбавления [22, 23].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе с целью определения оптимальных температурно-концентрационных

параметров экстракции визуально-политермическим методом изучены фазовые равновесия в системе неонол АФ 9-10 – вода (рис.1).

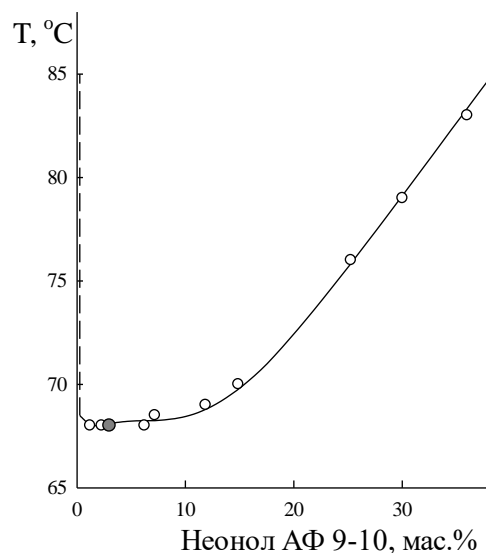


Рис. 1. Диаграмма состояния системы неонол АФ 9–10 – вода

Исследованная система характеризуется нижней критической температурой растворимости (НКТР) при 68°C (3,0 мас. %); область расслаивания быстро расширяется с ростом температуры, что свидетельствует о высоком коэффициенте распределения ПАВ между фазами. По сравнению с неололом АФ 9-12, ранее применявшимся для целей экстракции [17, 18], неонол АФ 9-10 имеет более низкое значение НКТР вследствие большей гидрофобности молекул, что позволяет проводить экстракцию без использования дополнительных неорганических высаливателей. Косвенно степень гидрофобности ПАВ можно оценить по величине гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ). Вычисленные по Девису [24] значения ГЛБ для неололов АФ 9-10 и АФ 9-12 равны 6,27 и 6,93 соответственно, что подтверждает ранее сделанный вывод.

Полученные данные позволили подобрать температурно-концентрационные параметры экстракции. Так, раствор, содержащий 2,5 мас. % неонла АФ 9-10, при температуре 85°C расслаивается на две жидкие фазы, причем относительный объем экстракта (отношение объема экстракта к общему объему системы) равен 0,09, а равновесие устанавливается менее чем за 15 минут. Введение в экстракционную систему серной или хлороводородной кислоты в концентрации более 0,75 моль/л приводит к гомогенизации системы, вероятно, вследствие протонирования молекул ПАВ и снижения его способности к высаливанию.

Введение щелочей приводит к незначительному уменьшению объема экстракта, расслаивание при этом сохраняется при концентрации более 3,0 моль/л гидроксида натрия.

С целью оценки экстракционной способности и определения возможности использования в экстракции системы неонла АФ 9-10 – вода изучено межфазное распределение ряда органических комплексобразующих реагентов в количестве $1 \cdot 10^{-6}$ моль. Значения степеней извлечения (R), коэффициентов распределения (D) и гидрофильность (N), вычисленная по [25] для исследованных реагентов приведены в таблице.

Распределение органических комплексобразующих реагентов в системе АФ 9-10 – вода

№	Краситель	λ_{\max} , нм	R, %	D	N
1	Арсеназол I	505	14,62	1,46	1,75
2	Арсеназол III	560	9,20	0,78	1,83
3	Хромазурол S	464	42,49	5,98	1,22
4	Эриохром чёрный T (ЭХЧТ)	547	62,62	9,88	0,84
5	Ксиленоловый оранжевый	420	25,33	2,61	-
6	4-(2-пиридазазо)резорцин (ПАР)	420	67,56	14,58	0,47
7	1-(2-пиридазазо)-2-нафтол	420	73,33	15,58	0,22
8	Нитрозо-R-соль	370	7,34	0,61	-
9	Сульфарсазен	440	15,86	1,32	1,51
10	Бериллон II	553	6,36	0,38	-
11	Хромпиразол I	600	77,71	16,44	-
12	Ализарин	430	78,29	19,67	-

Коэффициент распределения большинства исследованных реагентов не превышает 10, лучше всего в системе неонла АФ 9-10 – вода концентрируются 4-(2-пиридазазо)резорцин, 1-(2-пиридазазо)-2-нафтол, ализарин и хромпиразол I. На рис. 2 представлена корреляционная зависимость между логарифмом коэффициента распределения органического реагента (lgD) и его гидрофильностью (N).

Показано, что чем выше гидрофильность распределяемого реагента, тем ниже его коэффициент распределения. Низкое значение ко-

эффициента корреляции свидетельствует о том, что на распределение реагентов влияет не только изменение гидратации при переходе из водной в органическую фазу, но и другие эффекты, в том числе обусловленные наличием в системе мицелл ПАВ, например солубилизация органических реагентов.

Эффективное концентрирование ряда органических реагентов свидетельствует о возможности использования изученной системы и для концентрирования их комплексных соединений с ионами металлов, поскольку степень

извлечения комплексов, как правило, выше, чем реагентов.

Чтобы оценить применимость системы неонол АФ 9-10 – вода для экстракционно-спектрофотометрического некоторых цветных металлов получены спектры ПАР с никелем, кобальтом и медью, которые количественно концентрируются в фазу ПАВ (рис. 3). ПАР имеет максимум светопоглощения в видимой области при 410 нм. На спектре экстракта, содержащего комплекс ПАР с никелем, наблюдаются два неразрешенных максимума – при 525 и 590 нм. Спектр комплексного соединения ПАР с медью также имеет два неразрешенных максимума при 550 и 585 нм.

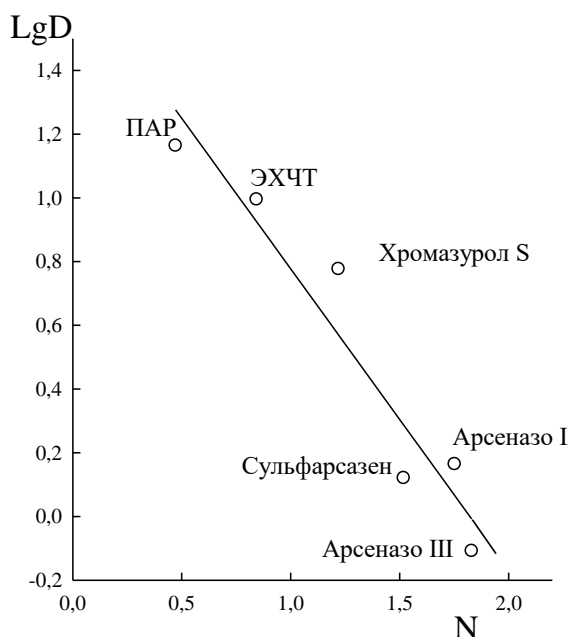


Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения органических реагентов от их гидрофильности (N) в системе неонол АФ 9-10 – вода ($\lg D = -0,954N + 1,722$, $R^2 = 0,922$)

Комплексное соединение ПАР с кобальтом характеризуется широким максимумом светопоглощения в интервале 550–640 нм. Важно отметить, что реакция комплексообразования ПАР с изученными металлами характеризуется

высокой контрастностью (более 100 нм) и малым поглощением реагента при длинах волн, отвечающих максимумам светопоглощения комплексных соединений. Однако близость максимумов поглощения всех изученных металлов свидетельствует о сильном взаимном мешающем влиянии при их совместном определении, поэтому в дальнейшем исследовали комплексообразование никеля с ПАР.

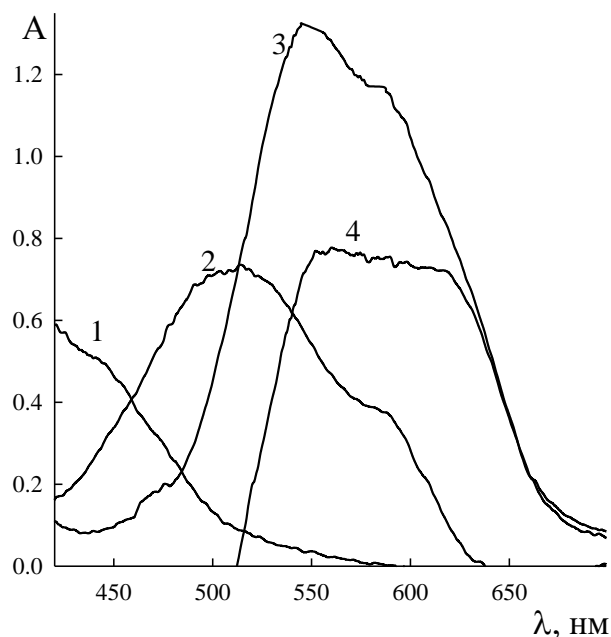


Рис.3. Спектры светопоглощения экстрактов, содержащих: (1) ПАР; (2) ПАР + Ni; (3) ПАР + Cu; (4) ПАР + Co ($C_{\text{ПАР}} = 10^{-4}$ моль/л, $C_{\text{M}} = 5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, СФ-2000, $l = 1,0$ см, на фоне воды)

Исследование влияния величины рН на оптическую плотность экстрактов, содержащих никель с ПАР, показали, что увеличение величины рН от 3 до 6 сопровождается ростом оптической плотности экстрактов и достигает максимума при рН 6,0, что было выбрано за оптимальный параметр. Дальнейшее увеличение рН не представляет интереса, так как в слабощелочной среде ПАР не образует устойчивых комплексных соединений с никелем.

Так как реакция комплексообразования может протекать медленно, исследована зависимость оптической плотности экстрактов от времени выдерживания подготовленных растворов до экстракции. Установлено, что оптимальное время протекания реакции комплексообразования никеля с ПАР составляет 30 минут. Окраска экстракта устойчива в течение 20 минут, далее происходит небольшое увеличение оптической плотности, что может быть связано с протеканием побочных процессов.

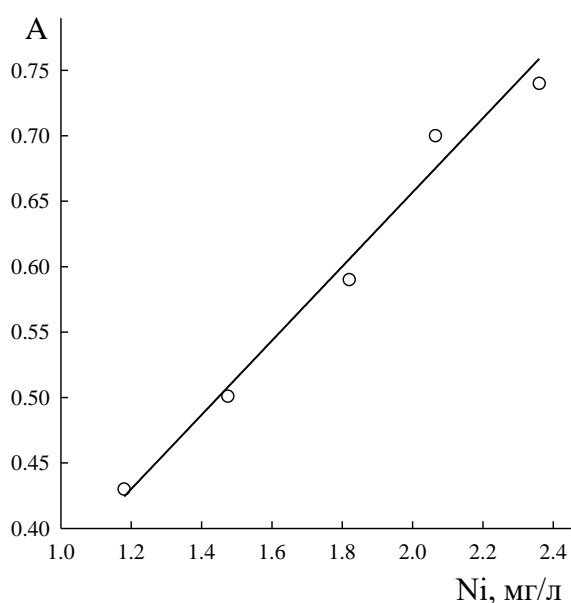


Рис. 4. Градуировочная зависимость для экстракционно-фотометрического определения никеля с ПАР в системе неонол АФ 9–10 – вода (UNICO 2100, $l = 1$ см, $\lambda = 525$ нм, 10^{-4} моль/л ПАР)

В определенных оптимальных условия построена градуировочная зависимость для определения никеля с ПАР после концентрирования в системе неонол АФ 9-10 – вода. В градуированные пробирки с притертой пробкой помещали 1,0 г неонولا АФ 9-10, 1,00; 1,25; 1,50; 2,00; 2,25; 2,50 мл $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л раствора никеля, 0,5 мл $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л раствора ПАР, доводили объем до 20 мл дистиллированной водой, перемешивали, выдерживали в течение 30

мин для развития окраски и термостатировали при 85°C в течение 15 мин, после охлаждения до комнатной температуры проточной водой экстракт отделяли, добавляли 1,0 мл буферного раствора (рН 6,0), доводили объем дистиллированной водой до 5,0 мл и измеряли оптическую плотность при 525 нм в стеклянных кюветах на 1 см на фоне холостой пробы приготовленной аналогично.

Методом наименьших квадратов рассчитано уравнение прямой: $A = 0,330C_{Ni}$ ($R^2 = 0,950$). Установлено, что график линейен в интервале концентраций никеля в экстракте от 1,2 до 2,4 мг/л. На основании полученной зависимости рассчитан кажущийся коэффициент молярного светопоглощения, который равен 19500.

Методами изомолярных серий и насыщения установлено, что отношение никель : ПАР в комплексном соединении равно 1 : 2. Методом Бабко установлено, что константа устойчивости комплексного соединения равна $\log \beta = 16,22$.

Заключение

Проведенные исследования показали, что разработанная экстракционно-фотометрическая методика определения никеля с ПАР в системе неонол АФ 9-10 – вода является мало-перспективной в связи с узким диапазоном определяемых содержаний. Однако возможность количественного концентрирования никеля с ПАР, представляет интерес для разработки экстракционного концентрирования никеля с последующим атомно-абсорбционным или атомно-эмиссионным его определением.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Bağda E., Tüzen M. A simple and sensitive vortex-assisted ionic liquid-dispersive microextraction and spectrophotometric determination of selenium in food samples // *Food chemistry*. 2017. Vol. 232. P. 98–104.
2. Altunay N., Elik A., Gürkan R. Extraction and reliable determination of acrylamide from thermally processed foods using ionic liquid-based ultrasound-assisted selective microextraction combined with spectrophotometry // *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2018. Vol. 35, №. 2. P. 222–232.
3. Soylak M., Deryol S., Uzcan F. A new green microextraction method for traces Brown HT (E155) by using deep eutectic solvents prior to its spectrophotometric determination // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021. Vol. 101, №. 10. P. 1437–1447.
4. Piton G.R. Augusto K.K., Santos Jr D., Fati-bello-Filho O. Spectrophotometric determination of allura red AC and tartrazine in food products using hydrophobic deep eutectic solvents as an environmentally sustainable microextractor // *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2021. Vol. 32. P. 564–571.
5. Temel N. K., Gürkan R. Application of Ultrasound-assisted Cloud-point Extraction and Spectrophotometry for Preconcentration and Determination of Trace Amounts of Copper (II) in Beverages // *Journal of Analytical Chemistry*. 2019. Vol. 74, № 12. P. 1174–1183.
6. Денисова С.А., Леснов А.Е., Останина Н.Н. Экстракция металлов в системе вода – калий бис-(алкилполиоксиэтилен)фосфат – сульфат аммония с различными фотометрическими реагентами // *Журнал аналитической химии*. 2018. Т. 73, № 5. С. 352–357.
7. Денисова С.А., Леснов А.Е. Комплексообразование и гель-экстракция галлия с пирока-техиновым фиолетовым в расслаивающихся системах вода – ПАВ – неорганический высаливатель // *Вестник Пермского университета. Серия «Химия»*. 2017. Т. 7, № 1. С. 39–48.
8. Khudhair A.F. Hassan M.K., Alesary H.F., Abbas A.S. A Simple Pre-concentration Method for the Determination of Nickel (II) in Urine Samples Using UV-Vis Spectrophotometry and Flame Atomic Absorption Spectrometry Techniques // *Indonesian Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 19, № 3. P. 638–649.
9. Beiraghi A., Shirkhani A.R., Ziyaei Halimeh-jani A. Separation, Preconcentration and determination of Hg (II) Ion in Water Samples by Cloud Point Extraction Technique Coupled with UV-VIS Spectrophotometry using a New Complexing Agent // *International Journal of New Chemistry*. 2019. Vol. 6, № 3. P. 163–177.
10. Станкова А.В., Елохов А.М. Концентрирование и определение ионов металлов в системе вода – оксиэтилированныйнионилфенол – хлорид натрия в присутствии сульфарсазена // *Вестник Пермского университета. Серия «Химия»*. 2019. Т. 9, № 1. С. 50–61.
11. Amin A.S., Mallah Z.A. A Novel Green Nano Determination of Aluminium in Food, Biological and Water Samples Using a Cloud Point Extraction Combined with Spectrophotometry // *International Journal of Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 4, № 1. P. 1–10.
12. Денисова С.А., Кылосова К.В., Елохов А.М., Леснов А.Е. Разработка экстракционно-

- фотометрического метода определения кобальта с 1-(2-пиридилазо)-2-нафтолом в системе хлорид натрия – моноалкилполиэтиленгликоль – вода // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2017. Т. 7, № 3. С. 306–313.
13. Чухланцева Е.Ю., Денисова С.А., Леснов А.Е. Экстракция ионов металлов фотометрическими реагентами в системе вода – катамин АБ – нитрат аммония // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, № 3. С. 300–308.
14. Заболотных С.А., Денисова С.А., Маньлова К.О. Экстракционно-фотометрическое определение меди (II) с 1,2,3-бензотриазолом в системе вода – алкилбензолсульфокислота – хлороводородная кислота // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, № 3. С. 292–299.
15. Zengin H.B., Gürkan R. Use of 2-Hydrazinobenzothiazole-Modified Copolymer (s) as Potential Chelating Agent for Sensitive and Selective Determination of Low Levels of Mercury in Seafood by Ultrasound-Assisted Cloud-Point Extraction Combined with Spectrophotometry // Biological Trace Element Research. 2019. Vol. 191, № 1. P. 254–268.
16. Abd El-Hay, S.S., Gouda A.A. Determination of thorium (IV) in real samples by spectrophotometry after micelle-mediated cloud point extraction // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2016. Vol. 310, № 1. P. 191–200.
17. Станкова А.В., Елохов А.М., Денисова С.А., Леснов А.Е. Экстракция хлоридных ацидокомплексов трехзарядных катионов металлов в системах вода – оксиэтилированный-нонилфенол – высаливатель // Известия Академии наук. Серия Химическая. 2018. № 9. С. 1608–1611.
18. Станкова А.В., Елохов А.М., Леснов А.Е. Фазовые и экстракционные равновесия в системе вода – оксиэтилированный-нонилфенол – сульфат натрия // Известия Академии наук. Серия Химическая. 2020. № 4. С. 671–674.
19. Архипов В.П., Идиятуллин З.Ш. Экстракция фенола из водных растворов с помощью оксиэтилированных изонилфенолов АФ-9-9, АФ-9-10 в присутствии хлорида натрия // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 8–11.
20. Архипов В.П., Архипов Р.В., Идиятуллин З.Ш. Экстракционные свойства водных растворов оксиэтилированных изонилфенолов в присутствии солей натрия с одно- и двухзарядными анионами // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20, № 19. С. 21–25.
21. Аносов В.Я., Озерова М.И., Фиалков Ю.Я. Основы физико-химического анализа. М.: Наука, 1976. 504 с.
22. Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1986. 432 с.
23. Шлефер Г.Л. Комплексообразование в растворах. Методы определения состава и констант устойчивости комплексных соединений в растворах. М.–Л.: Химия, 1964. 380 с.
24. Davies J.T., Rideal R.K. Interfacial Phenomena. New York, London: Academic Press, 1961. 461 p.
25. Коренман Я.И., Санникова Н.Ю., Суханов П.Т., Колесник А.В. Экстракционно-хроматографическое определение сульфиа-

зокрасителей в водных растворах // Журнал аналитической химии. 2010. Т. 65, №5.С. 460–465.

References

1. Bağda, E. and Tüzen, M. (2017) “A simple and sensitive vortex-assisted ionic liquid-dispersive microextraction and spectrophotometric determination of selenium in food samples”, *Food chemistry*, vol. 232, pp. 98–104.
2. Altunay, N., Elik, A. and Gürkan, R. (2018) “Extraction and reliable determination of acrylamide from thermally processed foods using ionic liquid-based ultrasound-assisted selective microextraction combined with spectrophotometry”, *Food Additives & Contaminants: Part A*, vol. 35, no. 2, pp. 222–232.
3. Soy lak, M., Deryol, S. and Uzcan, F. (2021) “A new green microextraction method for traces Brown HT (E155) by using deep eutectic solvents prior to its spectrophotometric determination”, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, vol. 101, no. 10, pp. 1437–1447.
4. Piton, G.R. Augusto, K.K., Santos Jr, D. and Fatibello-Filho, O. (2021) “Spectrophotometric determination of allura red AC and tartrazine in food products using hydrophobic deep eutectic solvents as an environmentally sustainable micro-extractor”, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, vol. 32, pp. 564–571.
5. Temel ,N.K. and Gürkan, R. (2019) “Application of Ultrasound-assisted Cloud-point Extraction and Spectrophotometry for Preconcentration and Determination of Trace Amounts of Copper (II) in Beverages”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 74, no. 12, pp. 1174–1183.
6. Denisova, S.A., Lesnov, A.E., and Ostani na, N.N. (2018) “Extraction of metals in a wa-
ter–potassium bis(alkylpolyoxyethylene) phosphate – ammonium sulfate system with various photometric reagents, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 73, no. 5, pp. 427–431.
7. Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2017) “Complexation and gel extraction of gallium with pyrocatechol violet in exfoliating systems water – surfactant – inorganic salting out agent”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 7, no. 1, pp. 39–48. (In Russian).
8. Khudhair, A.F. Hassan, M.K., Alesary, H.F. and Abbas, A.S. (2019) “A Simple Pre-concentration Method for the Determination of Nickel (II) in Urine Samples Using UV-Vis Spectrophotometry and Flame Atomic Absorption Spectrometry Techniques”, *Indonesian Journal of Chemistry*, vol. 19, no. 3, pp. 638–649.
9. Beiraghi, A., Shirkhani, A.R. and Ziyaei Hali mehjani, A. (2019) “Separation, Preconcentration and determination of Hg (II) Ion in Water Samples by Cloud Point Extraction Technique Coupled with UV-VIS Spectrophotometry using a New Complexing Agent”, *International Journal of New Chemistry*, vol. 6, no. 3, pp. 163–177.
10. Stankova, A.V. and Elokhov, A.M. (2019) “Extraction and determination of metal ions in the water –oxyethylated nonylphenol– sodium chloride system in presence of sulfarsazene”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp. 50–61. (In Russian).
11. Amin, A.S. and Mallah, Z.A. (2018) “A Novel Green Nano Determination of Aluminium in Food, Biological and Water Samples Using a Cloud Point Extraction Combined with Spectrophotometry”, *International Journal of Analytical Chemistry*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10.

12. Denisova, S.A., Kylosova, K.V., Elokhov, A.M. and Lesnov, A.E. (2017) "Development of extraction-photometric method for determination of cobalt with 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol in the sodium chloride – monoalkylpolyethylene glycol – water system," *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 7, no. 3, pp. 306–313. (In Russian).
13. Chukhlantseva, E.Yu., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2018) "Extraction of metal ions by photometric reagents in the water – catamine AB – ammonium nitrate system", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 300–308. (In Russian).
14. Zabolotnykh, S.A., Denisova, S.A. and Manylova, K.O. (2018) "Extraction-photometric determination of copper (II) with 1,2,3-benzotriazole in the system water – alkylbenzenesulfonic acid – hydrochloric acid", *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 8, no. 3, pp. 292–299. (In Russian).
15. Zengin, H.B. and Gürkan, R. (2019), "Use of 2-Hydrazinobenzothiazole-Modified Copolymer (s) as Potential Chelating Agent for Sensitive and Selective Determination of Low Levels of Mercury in Seafood by Ultrasound-Assisted Cloud-Point Extraction Combined with Spectrophotometry", *Biological Trace Element Research*, vol. 191, no. 1, pp. 254–268.
16. Abd El-Hay, S.S. and Gouda, A.A. (2016) "Determination of thorium (IV) in real samples by spectrophotometry after micelle-mediated cloud point extraction", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 310, no. 1, pp. 191–200.
17. Stankova, A.V., Elokhov, A.M., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2018) "Extraction of chloride acido complexes of triply charged metal cations in water – oxyethylatednonylphenol – salting-out agent systems", *Russian Chemical Bulletin*, vol. 67, no. 9, pp. 1608–1611.
18. Stankova, A.V., Elokhov, A.M. and Lesnov, A.E. (2020) "Phase and extraction equilibria in the water – ethoxylated nonylphenol – sodium sulfate system", *Russian Chemical Bulletin*, vol. 69, no 4, pp. 671–674.
19. Arkhipov, V.P. and Idiyatullin, Z.Sh. (2016) Ekstraksiya fenola iz vodnykh rastvorov s pomoshch'yu oksietilirovannykh izononilfenolov AF-9-9, AF-9-10 v prisutstvii khlorida natriya [Extraction of phenol from aqueous solutions using ethoxylated isononylphenols AF-9-9, AF-9-10 in the presence of sodium chloride], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, vol. 19, no. 5, pp. 8–11. (In Russian).
20. Arkhipov, V.P., Arkhipov, R.V. and Idiyatullin, Z.Sh. (2017) Ekstraktsionnyye svoystva vodnykh rastvorov oksietilirovannykh izononilfenolov v prisutstviisoleynatriya s odno- i dvukhzaryadnymi anionami [Extraction properties of aqueous solutions of oxyethylatedisononylphenols in the presence of sodium salts with one and two charged anions], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, vol. 20, no. 19, pp. 21–25. (In Russian).
21. Anosov, V.Ya., Ozerova, M.I. and Fialkov, Yu.Ya. (1976) *Osnovy fiziko-khimicheskogo analiza* [Fundamentals of physical and chemical analysis], Nauka, Moscow, Russia. (In Russian).
22. Bulatov, M.I. and Kalinkin, I.P. (1986), *Prakticheskoye rukovodstvo po fotometricheskim metodam analiza* [Practical guid on photometric methods of analysis], Khimiya, Leningrad, Russia. (In Russian).

23. Shlefer, G.L. (1964) *Kompleksoobrazovaniye v rastvorakh. Metody opredeleniya sostava i constant ustoychivosti kompleksnykh soyedineniy v rastvorakh* [Complexation in solutions. Methods for determining the composition and stability constants of complex compounds in solutions], Himiya, Moscow, Russia. (In Russian).
24. Davies, J.T. and Rideal, R.K. (1961) *Interfacial Phenomena*, Academic Press, New York, USA.
25. Korenman, Y.I., Sannikova, N.Y., Sukhanov, P.T., Kolesnik A.V. (2010) “Extraction-chromatographic determination of sulfonated azo dyes in aqueous solutions”, *Journal of Analytical Chemistry*, vol. 65, no. 5, pp. 460–465.

Об авторах

Дарья Олеговна Шильковская,
инженер лаборатории органических комплексообразующих реагентов
Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН
614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3.
dasha_03_12@vk.com

Александр Михайлович Елохов,
кандидат химических наук,
доцент кафедры неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности
Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.
<http://orcid.org/0000-0001-7868-4674>
elhalex@yandex.ru

About the authors

Daria O. Shilykovskaya,
Engineer, Laboratory of Organic Complexing Agents,
Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
3, Academic Korolevst., Perm, Russia, 614013.
dasha_03_12@vk.com

Aleksandr M. Elokhov,
Candidate of Chemistry Sciences,
Associate professor, Department of Inorganic Chemistry, Chemical Technology and Technosphere Safety,
Perm State University
15, Bukirevst., Perm, Russia, 614990
<http://orcid.org/0000-0001-7868-4674>
elhalex@yandex.ru

Информация для цитирования:

Шильковская Д.О., Елохов А.М. Экстракционно-спектрофотометрическое определение никеля с 4-(2-пиридилазо)резорцином в системе неонол АФ 9-10 – вода// Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2021. Т. 11, вып. 4. С. 223–233. DOI: 10.17072/2223-1838-2021-4-223-233.

Shilykovskaya D.O., Elokhov A.M. Extraction-spectrophotometric determination of nickel with 4-(2-pyridylazo) resorcinol in the neonol AF 9-10 – water system, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, 2021, vol. 11, no. 4, pp. 223–233. (In Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2021-4-223-233.