

УДК 541.183:546.98:547.772:547.279.1

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.3.13

СОРБЦИЯ ПАЛЛАДИЯ(II) ИЗ СОЛЯНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ ИМПРЕГНАТОМ, СОДЕРЖАЩИМ 4-[(ГЕКСИЛСУЛЬФАНИЛ)МЕТИЛ]-3,5-ДИМЕТИЛ-1-ФЕНИЛ-1H-ПИРАЗОЛ

© Г. Р. Анпилогова*, Л. А. Баева, Ю. И. Муринов

*Уфимский институт химии УФИЦ РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 69.*

Тел.: +7 (347) 235 54 00.

*Email: sulfur@anrb.ru

Методом сухого импрегнирования мезопористого адсорбента Полисорб-1 новым высоко-селективным и эффективным экстрагентом палладия(II) – 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразолом – получен импрегнат с содержанием экстрагента 1.01 ммоль на г сухого импрегната. В статических условиях при температуре 20 ± 1 °C изучена сорбция Pd(II) импрегнатом из солянокислых растворов. Наиболее эффективно импрегнат извлекает Pd(II) из растворов 0.1–4 моль/л HCl. Изотерма сорбции Pd(II) из растворов 1 моль/л HCl имеет прямоугольную форму. Возможность количественной десорбции Pd(II) солянокислым раствором тиомочевины позволяет использовать сорбент в режиме «сорбция – десорбция». Импрегнат представляет интерес для селективного сорбционного извлечения и концентрирования Pd(II) из солянокислых растворов с низким содержанием ионов данного металла.

Ключевые слова: импрегнат, Полисорб-1, 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразол, сорбция, палладий(II).

Введение

Сорбция и экстракция являются перспективными гидрометаллургическими методами извлечения и концентрирования благородных металлов из сложных растворов, получаемых при переработке концентратов, вторичного сырья и техногенных отходов [1]. Применение сорбции особенно эффективно и предпочтительно для извлечения (доизвлечения) благородных металлов из растворов с низким содержанием данных металлов, таких как растворы выщелачивания отработанных промышленных и автомобильных катализаторов и отработанные растворы аффинажного производства [2–4].

Хорошей селективностью по отношению к ионам платиновых металлов и золота(III) при извлечении из солянокислых растворов характеризуются сорбенты с серо- и/или азотсодержащими комплексообразующими функциональными группами – сульфогидрильными, тиоэфирными, аминотиоэфирными, тио- и изотиомочевинными, слабоосновными гетероциклическими (пиразольными, имидазольными, бензимидазольными) и др. [2–3; 5]. Однако, высокая стоимость таких сорбентов, обусловленная сложными многостадийными методами синтеза с применением дорогостоящих реагентов [6–7], медленная сорбция и затрудненность количественной элюации ионов металлов препятствуют широкому применению комплексообразующих сорбентов в производственной практике. В качестве альтернативных сорбентов для селективного извлечения благородных металлов представляют интерес получаемые более простыми и быстрыми способами [7–9] импрегнаты и твердые экстрагенты (ТВЭКсы), содержащие селективный и эффективный экстрагент, нековалентно закрепленный на поверхности инертного неполярного или

малополярного пористого адсорбента. Импрегнаты и ТВЭКсы отличаются от органополимерных сорбентов с ковалентно закрепленными функциональными группами отсутствием набухания в водных средах и более высокой скоростью сорбции ионов металлов. Сорбция ионов металлов такими сорбентами лишена основных недостатков жидкостной экстракции – необходимости применения пожароопасных и токсичных разбавителей, образования трудно расслаивающейся эмульсии или третьей фазы [8–9].

В литературе имеются данные по извлечению и концентрированию платиновых металлов пористыми полимерными сорбентами, импрегнированными селективными комплексообразующими экстрагентами *трис*[(дифенилтиофосфинил)метил]этилметаном [10]; тетрабутилтиометилкаликс[4]ареном [11]; производными 5-амино[1,2,4]тиадиазола [12]; 6,6'-*бис*(5,6-дигептил-1,2,4-триазин-3-ил)-2,2'-бипиридином [13]; дигексилсульфидом, дигексиламином [14].

Ранее было установлено, что синтезированные нами новые комплексообразующие экстрагенты 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1H-пиразол и 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразол с высокой эффективностью и селективностью извлекают палладий(II) из солянокислых растворов [15–16].

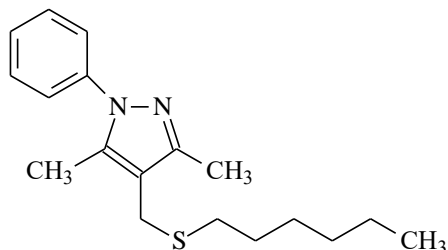
В настоящей работе в статических условиях изучена сорбция палладия(II) из солянокислых растворов мезопористым адсорбентом Полисорб-1, импрегнированным 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразолом.

Экспериментальная часть

Для приготовления водных растворов солей металлов использовали PdCl₂ и H₂PtCl₆·6H₂O «ч.».

HCl «х. ч.»; для раствора элюента – тиомочевину «ч. д. а.».

В качестве экстрагента использовали 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразол (реагент L), синтезированный и очищенный известными методами [16–17]:



Соединение представляет собой вязкую жидкость светло-желтого цвета. Его индивидуальность подтверждена методами элементного анализа, ИК- и ЯМР ^1H и ^{13}C спектроскопии; чистота по данным газожидкостной хроматографии и спектроскопии ЯМР составляла не менее 95% [16].

В качестве адсорбента-носителя использовали мезопористый сополимер стирола и дивинилбензола (60:40% [18]), Полисорб-1 «ч.» (ТУ 6-09-10-1834-88) с размером гранул 0.25–0.5 мм. Удельная поверхность адсорбента 200–250 м²/г, средний диаметр пор 13 нм [19]. Носитель отмывали от примесей согласно методу [20] контактированием с 50 об.% водным раствором метанола, содержащим 4 моль/л HCl, в течение 17 ч при соотношении массы адсорбента (г) к объему раствора (см³) $m:V = 1:6$ и периодическом перемешивании. Затем отфильтрованный адсорбент промывали дистиллированной водой до отсутствия хлорид-ионов в промывной воде (по качественной реакции с AgNO₃) и сушили при 50 °C до постоянной массы.

Импрегнат получали методом сухого импрегнирования [20]. Навеску экстрагента массой 0.456 г (1.51 ммоль) растворили в 6.7 мл абсолютного этанола. К полученному раствору добавили 1.000 г промытого и высушенного Полисорба-1. Смесь выдерживали при периодическом осторожном перемешивании до полного испарения растворителя. Полученный импрегат несколько раз промыли водой и высушили при комнатной температуре до постоянной массы. Содержание экстрагента в импрегнате, определенное весовым методом, составляло 1.01 ммоль/г (97% от теоретического), а рассчитанное по содержанию серы в импрегнате (3.26%, данные элементного анализа) – 1.02 ммоль/г (98% от теоретического).

Сорбцию палладия(II) и платины(IV) изучали статическим методом отдельных навесок при температуре 20 ± 1 °C, соотношении массы импрегната (г) к объему раствора (см³) $m:V = 1:200$ и интенсивном перемешивании с помощью магнитной мешалки типа ММ-2А. Степень извлечения ионов металла рассчитывали по разности концентраций в рас-

творе до и после сорбции. Статическую сорбционную емкость импрегната по ионам металла (ммоль/г) рассчитывали по формуле $E = (C_{\text{исх}} - C)V/m$, где $C_{\text{исх}}$ и C – концентрация ионов металла в растворе до и после сорбции, соответственно, ммоль/см³. Коэффициент распределения ионов металла (см³/г) рассчитывали по формуле $K_d = E/C$. Погрешность определения сорбционной емкости не превышала 5%.

Концентрацию палладия(II) и платины(IV) в солянокислых растворах определяли спектрофотометрическими методами с хлоридом олова(II) [21] на спектрофотометре Specord M40. Концентрацию палладия(II) в тиомочевинном элюате и сорбтиве определяли аналогично, после перевода аликвоты элюата и навески сорбтива в хлоридные растворы известным способом [21].

Для определения содержания S и Cl методом элементного анализа и Pd в сорбтиве, а также для изучения десорбции палладия(II) использовали насыщенные сорбтивы палладия(II), промытые на фильтре раствором 1 моль/л HCl, затем водой до отсутствия хлорид-ионов в фильтрате (по качественной реакции с AgNO₃) и высушенные на воздухе.

Результаты и их обсуждение

Сорбционная емкость импрегната по палладию(II) так же, как и экстракция палладия(II) реагентом L (разбавители толуол, хлороформ) [16], незначительно уменьшается с увеличением кислотности водной фазы (рис. 1). Это позволяет использовать импрегат для эффективного извлечения палладия(II) в более широком интервале концентраций кислоты по сравнению с импрегнатами со стирол-дивинилбензолными матрицами, содержащими триалкиламины Alamine 336 [20] и производные 5-амино[1,2,4]гиадиазола [12], сорбционная способность которых по палладию(II) существенно снижается с ростом кислотности водной фазы.

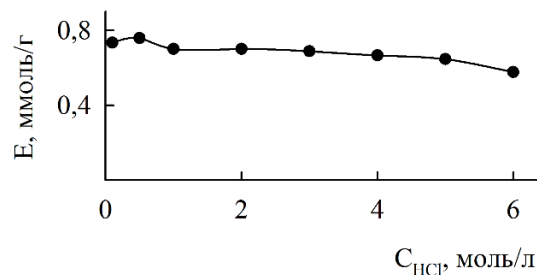


Рис. 1. Зависимость сорбционной емкости импрегната по палладию(II) от исходной концентрации соляной кислоты в растворе: $C_{\text{исх}}^{\text{Pd}} = 0.0048$ моль/л; время контакта фаз 24 ч.

Известно, что скорость сорбции ионов металлов импрегнатами меньше скорости жидкостной экстракции, что обычно обусловлено влиянием внутренней диффузии на кинетику процесса [8]. Равновесие экстракции палладия(II) из растворов

1–4 моль/л HCl устанавливается в течение 1 ч [16]. Время достижения равновесия сорбции и полусорбции палладия(II) из раствора 1 моль/л HCl, определенное при варьировании времени контакта фаз в интервале 0.5–24 ч, составляет 2 ч и 35 мин соответственно (рис. 2). Равновесие сорбции палладия(II) импрегнатом устанавливается значительно быстрее равновесия сорбции ионов металлов гранулированными органополимерными сорбентами (более чем за 4–6 ч [8]).

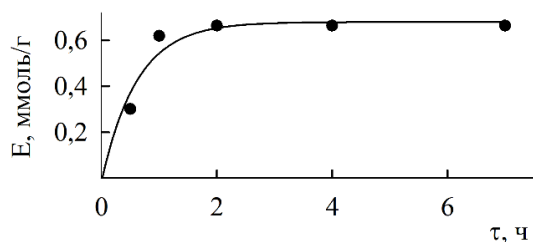


Рис. 2. Кинетическая кривая сорбции палладия(II) импрегнатом из раствора 1 моль/л HCl: $C_{исх}^{Pd} = 0.0051$ моль/л.

Так как время установления равновесия сорбции палладия(II) импрегнатами может увеличиваться с ростом исходной концентрации ионов металла в растворе [20], то при получении изотермы сорбции палладия(II) (рис. 3) методом переменных концентраций время контакта фаз увеличили до 24 ч.

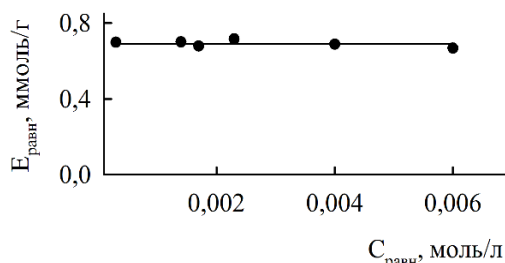


Рис. 3. Равновесная изотерма сорбции палладия(II) импрегнатом из растворов 1 моль/л HCl.

В изученном диапазоне равновесных концентраций палладия(II) изотерма сорбции имеет прямоугольную форму (рис. 3), что свидетельствует о высоком сорбционном сродстве импрегната к палладию(II). Предельная сорбционная емкость импрегната по палладию(II) (PE_{Pd}), определенная по изотерме сорбции, составляет 0.69 ± 0.02 ммоль/г. Известно, что палладий(II) извлекается из растворов 1 моль/л HCl непротонированной формой реагента L (разбавитель – толуол) по координационному механизму с образованием экстрагируемого соединения $[PdCl_2 \mu-L]_n$ ($n > 2$) [16]. Соотношение $PE_{Pd}:E_L = 1:1.47$ позволяет предположить образование в фазе импрегната комплексных соединений с молярным соотношением Pd:L = 1:1 и 1:2. Это, по-

видимому, обусловлено стерическими препятствиями в тонких порах сорбента образованию полиядерных комплексов с соотношением Pd:L = 1:1. Содержание элементов в насыщенном сорбтиве палладия(II) (%: Pd 7.02, S 2.83, Cl 4.24) хорошо согласуется с рассчитанным по величине PE_{Pd} для соотношения Pd:Cl = 1:2 (%: Pd 6.54, S 2.88, Cl 4.36), что подтверждает образование нейтральных хлорокомплексов палладия(II) в фазе импрегната.

В экстракционных условиях реагент L характеризуется высокой селективностью по отношению к Pd(II) по сравнению с Pt(IV), Cu(II), Ni(II), Fe(III) и Al(III), не извлекающихся из растворов 0.1–3 моль/л HCl [16]. На рис. 4 показано, что импрегнат не обеспечивает достаточно высокой селективности извлечения палладия(II) ($K_d \sim 9 \cdot 10^4$ см³/г) относительно платины(IV) ($K_d = 94–183$ см³/г) в аналогичной области концентраций кислоты. По-видимому, это обусловлено более длительным контактом фаз и более высокой концентрацией реагента L на границе раздела фаз в сорбционных условиях.

Установлено, что из насыщенного сорбтива, содержащего 6.63% палладия(II), при $m:V = 1:200$ и времени контакта фаз 3 ч раствором 0.2 моль/л HCl, содержащим 0.5 моль/л тиомочевины, десорбируется более 99.9% палладия. Возможность количественной десорбции палладия позволяет использовать импрегнат в гибридных методах анализа с предварительным сорбционным концентрированием. Импрегнат представляет интерес для сорбционного извлечения палладия(II) из растворов выщелачивания бедного сырья.

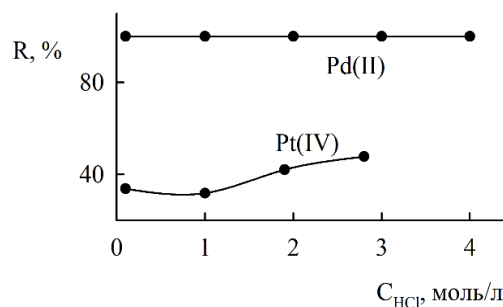


Рис. 4. Зависимость степени извлечения палладия(II) и платины(IV) из индивидуальных растворов импрегнатом от кислотности водной фазы: $C_{исх}^{Pd} = 0.0024$ моль/л; $C_{исх}^{Pt} = 0.0022$ моль/л; время контакта фаз 2 ч.

Выводы

Комплексообразующий экстрагент 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразол может быть использован для получения импрегнатов с пористым стирол-дивинилбензольным носителем, эффективно извлекающих палладий(II) из растворов 0.1–6 моль/л HCl с низкой концентрацией ионов данного металла.

Полисorb-1, импрегнированный реагентом L, извлекает палладий(II) из 1 моль/л раствора соля-

ной кислоты с образованием в твердой фазе нейтральных комплексных соединений с соотношением Pd:L:Cl = 1:1:2 и 1:2:2.

Возможность количественной десорбции палладия(II) солянокислым раствором тиомочевины позволяет использовать импрегнат в режиме «сорбция – десорбция».

Элементный анализ импрегната и сорбтива палладия(II) выполнен на оборудовании ЦКП «Химия» УФИХ РАН и РЦКП «Агидель» УФИЦ РАН. Работа выполнена по темам госзадания №АААА-А20-120012090027-6 и №АААА-А19-119011790021-4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котляр Ю. А., Меретуков М. А., Стрижко Л. С. *Металлургия благородных металлов*. Кн. 2. М.: МИСИС, Руда и металлы, 2005. 392 с.
2. Абовский Н. Д. Сорбция палладия(II), платины(II) и платины(IV) из хлоридных растворов на ионитах с различными функциональными группами: автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2008. 20 с.
3. Nikoloski A. N., Ang K.-L., Li D. Recovery of platinum, palladium and rhodium from acidic chloride leach solution using ion exchange resins // *Hydrometallurgy*. 2015. Vol. 152. Pp. 20–32.
4. Yagorava V., Kotze M. Ion exchange technology for the efficient recovery of precious metals from waste and low-grade streams // *J. S. Afr. Inst. Min. Metall.* 2014. Vol. 114. No. 2. Pp. 173–181.
5. Ehrlich H. V., Buslaeva T. M., Maryutina T. A. Trends in sorption of platinum metals: a critical survey // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2017. Vol. 62. No. 14. Pp. 1797–1818.
6. Мясоедова Г. В., Саввин С. Б. *Хелатообразующие сорбенты*. М.: Наука, 1984. 171 с.
7. Золотов Ю. А., Цизин Г. И., Дмитриенко С. Г., Моросанова Е. И. Сорбционное концентрирование микроэлементов из растворов: применение в неорганическом анализе. М.: Наука, 2007. 320 с.
8. Трошкина И. Д., Обручникова Я. А., Пестов С. М. Сорбция металлов материалами с подвижной фазой экстрагентов // *Рос. хим. журн.* 2017. Т. 61. №4. С. 54–65.
9. Kabay N., Cortina J., Trochimczuk A., Streat S. Solvent-impregnated resins (SIRs) – methods of preparation and their applications // *React. Funct. Polym.* 2010. Vol. 70. No. 8. Pp. 484–496.
10. Turanov A. N., Karandashev V. K., Baulin V. E. Extraction of palladium from nitric acid solutions with tris[(diphenylphosphinothioyl)methyl]ethylmethane // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2003. Vol. 48. No. 11. Pp. 1764–1768.
11. Torgov V., Kostin G., Korda T., Stoyanov E., Kalchenko V., Drapailo A., Kasyan O., Wipff G., Varnek A. Upper rim thioether derivatives of calix[4,6]arenes: extraction of fission Pd(II) and Ag(I) // *Solvent Extr. Ion Exch.* 2005. Vol. 23. No 6. Pp. 781–801.
12. Turanov A. N., Karandashev V. K., Proshin A. N. Palladium(II) recovery in extraction and sorption systems with 5-amino-1,2,4-thiadiazole derivatives // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2009. Vol. 54. No. 11. Pp.1849–1853.
13. Lu Y., Xu L., Li Y., Yang H., Liu Z., Jiang L., Zhang A. Highly selective adsorption for palladium removal by impregnation preparation of a macroporous N-based functional composite // *Solvent Extr. Ion Exch.* 2018. Vol. 36. No. 1. Pp. 1–16.
14. Moon J., Nishihama S., Yoshizuka K. Recovery of palladium and platinum from spent automobile catalyst by solvent-impregnated resins // *Solvent Extr. Ion Exch.* 2018. Vol. 36. No 5. Pp. 470–479.
15. Anpilogova G. R., Baeva L. A., Nugumanov R. M., Fatykhov A. A., Murinov Yu. I. Palladium(II) extraction from hydrochloric acid solutions with 4-[(hexylsulfanyl)methyl]-3,5-dimethyl-1H-pyrazole // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2018. Vol. 63. No. 8. Pp. 1100–1106.
16. Anpilogova G. R., Baeva L. A., Nugumanov R. M., Fatykhov A. A., Murinov Yu. I. Palladium(II) extraction by 4-[(hexylsulfanyl)methyl]-3,5-dimethyl-1-phenyl-1H-pyrazole from hydrochloric acid solutions // *Russ. J. Inorg. Chem.* 2020. Vol. 65. No. 1. Pp. 106–112.
17. Baeva L. A., Nugumanov R. M., Fatykhov A. A., Lyapina N. K. Synthesis of 4-[alkylsulfanyl(sulfonyl)methyl]isoxazoles and -1H-pyrazoles from 3-[(alkylsulfanyl)methyl]-pentane-2,4-diones // *Russ. J. Org. Chem.* 2018. Vol. 54. No. 3. Pp. 444–451.
18. Лурье А. А. *Хроматографические материалы (справочник)*. М.: Химия, 1978. 440 с.
19. Сакодынский К. И., Панина Л. И. *Полимерные сорбенты для молекулярной хроматографии*. М.: Наука, 1977. 168 с.
20. Rovira M., Hurtado L., Cortina J. L., Arnaldos J., Sastre A. M. Recovery of palladium(II) from hydrochloric acid solutions using impregnated resins containing Alamine 336 // *React. Funct. Polym.* 1998. Vol. 38. No. 2–3. Pp. 279–287.
21. Гинзбург С. И., Езерская Н. А., Прокофьева И. В., Федоренко Н. В., Шленская В. И., Бельский Н. К. *Аналитическая химия платиновых металлов*. М.: Наука, 1972. 616 с.

Поступила в редакцию 23.03.2020 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2020.3.13

SORPTION OF PALLADIUM(II) FROM HYDROCHLORIC ACID SOLUTIONS WITH SOLVENT IMPREGNATED RESIN CONTAINING 4-[(HEXYLSULFANYL)METHYL]-3,5-DIMETHYL-1-PHENYL-1H-PYRAZOLE

© G. R. Anpilogova*, L. A. Baeva, Yu. I. Murinov

*Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS
69 Oktyabrya Avenue, 450054 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 235 54 00.

**Email: sulfur@anrb.ru*

Solvent impregnated resins (SIRs) containing a selective and effective extractant are of interest for the recovery and concentration of platinum metals from solutions of processing of secondary raw materials and waste solutions of precious metals refining. In this work, a novel highly effective and selective complex-forming extractant of palladium(II) named 4-[(hexylsulfanyl)methyl]-3,5-dimethyl-1-phenyl-1H-pyrazole (L) was used to prepare SIR by a dry impregnation method using mesoporous adsorbent Polysorb-1 (styrene-divinylbenzene copolymer) as a carrier. The batchwise sorption of palladium(II) from hydrochloric acid solutions with the obtained sorbent containing 1.01 mmol of extractant per g of dry SIR was studied at a temperature of 20 ± 1 °C. It was found that the sorption capacity of the SIR for palladium(II) slightly decreases with increasing hydrochloric acid concentration in the aqueous phase from 0.1 to 6 mol/l. Palladium(II) recovery is most selective and effective in the range of acid concentrations of 0.1–4 mol/l. Equilibrium isotherm of palladium(II) sorption from solutions of 1 mol/l HCl has a rectangular shape, which confirms the high efficiency of the SIR. The maximum value of the sorption capacity for palladium(II) (0.69 ± 0.02 mmol/g) and the molar ratio of elements Pd : S : Cl in the phase of saturated sorbent indicate the formation of the complex compounds with the ratio Pd : L : Cl = 1 : 1 : 2 and 1 : 2 : 2. The possibility of quantitative elution of palladium(II) with a hydrochloric acid solution of thiourea allows using the sorbent in the cyclic sorption–elution mode.

Keywords: solvent impregnated resin; 4-[(hexylsulfanyl)methyl]-3,5-dimethyl-1-phenyl-1H-pyrazole; Polysorb-1; sorption; palladium(II).

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Kotlyar Yu. A., Meretukov M. A., Strizhko L. S. Metallurgiya blagorodnykh metallov. Kn. 2 [Metallurgy of precious metals. Vol. 2]. Moscow: MISIS, Ruda i metally, 2005.
2. Abovskii N. D. Sorbtsiya palladiya(II), platiny(II) i platiny(IV) iz khloridnykh rastvorov na ionitakh s razlichnymi funktsional'nymi gruppami: avtoref. dis. ... kand. khim. nauk. Saint Petersburg, 2008.
3. Nikoloski A. N., Ang K.-L., Li D. Hydrometallurgy. 2015. Vol. 152. Pp. 20–32.
4. Yavorava V., Kotze M. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 2014. Vol. 114. No. 2. Pp. 173–181.
5. Ehrlich H. V., Buslaeva T. M., Maryutina T. A. Russ. J. Inorg. Chem. 2017. Vol. 62. No. 14. Pp. 1797–1818.
6. Myasoedova G. V., Savvin S. B. Khelatoobrazuyushchie sorbenty [Chelating sorbents]. Moscow: Nauka, 1984.
7. Zolotov Yu. A., Tsizin G. I., Dmitrienko S. G., Morosanova E. I. Sorbtsionnoe kontsentrirovanie mikroelementov iz rastvorov: primeneniye v neorganicheskom analize [Sorption concentration of microelements from solutions: application in inorganic analysis]. Moscow: Nauka, 2007.
8. Troshkina I. D., Obruchnikova Ya. A., Pestov S. M. Ros. khim. zhurn. 2017. Vol. 61. No. 4. Pp. 54–65.
9. Kabay N., Cortina J., Trochimeczuk A., Streat S. React. Funct. Polym. 2010. Vol. 70. No. 8. Pp. 484–496.
10. Turanov A. N., Karandashev V. K., Baulin V. E. Russ. J. Inorg. Chem. 2003. Vol. 48. No. 11. Pp. 1764–1768.
11. Torgov V., Kostin G., Korda T., Stoyanov E., Kalchenko V., Drapailo A., Kasyan O., Wipff G., Varnek A. Solvent Extr. Ion Exch. 2005. Vol. 23. No 6. Pp. 781–801.
12. Turanov A. N., Karandashev V. K., Proshin A. N. Russ. J. Inorg. Chem. 2009. Vol. 54. No. 11. Pp. 1849–1853.
13. Lu Y., Xu L., Li Y., Yang H., Liu Z., Jiang L., Zhang A. Solvent Extr. Ion Exch. 2018. Vol. 36. No. 1. Pp. 1–16.
14. Moon J., Nishihama S., Yoshizuka K. Solvent Extr. Ion Exch. 2018. Vol. 36. No 5. Pp. 470–479.

15. Anpilogova G. R., Baeva L. A., Nugumanov R. M., Fatykhov A. A., Murinov Yu. I. Russ. J. Inorg. Chem. 2018. Vol. 63. No. 8. Pp. 1100–1106.
16. Anpilogova G. R., Baeva L. A., Nugumanov R. M., Fatykhov A. A., Murinov Yu. I. Russ. J. Inorg. Chem. 2020. Vol. 65. No. 1. Pp. 106–112.
17. Baeva L. A., Nugumanov R. M., Fatykhov A. A., Lyapina N. K. Russ. J. Org. Chem. 2018. Vol. 54. No. 3. Pp. 444–451.
18. Lurie A. A. Khromatograficheskie materialy (spravochnik) [Chromatographic materials (reference book)]. Moscow: Khimiya, 1978.
19. Sakodynskii K. I., Panina L. I. Polimernye sorbenty dlya molekulyarnoi khromatografii [Polymer sorbents for molecular chromatography]. Moscow: Nauka, 1977.
20. Rovira M., Hurtado L., Cortina J. L., Arnaldos J., Sastre A. M. React. Funct. Polym. 1998. Vol. 38. No. 2–3. Pp. 279–287.
21. Ginzburg S. I., Ezerskaya N. A., Prokof'eva I. V., Fedorenko N. V., Shlenskaya V. I., Bel'skii N. K. Analiticheskaya khimiya platinovykh metallov [Analytical chemistry of platinum metals]. Moscow: Nauka, 1972.

Received 23.03.2020.