

Оригинальная статья / Original article

УДК. 543:546.817.

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-107-113>

Концентрирование свинца(II) хелатообразующим сорбентом, содержащим фрагменты мета-фенилендиамина

© Э.Г. Алиев*, Ф.Н. Бахманова**, С.З. Гамидов**, Ф.М. Чырагов**

* ОАО «Азерсу», г. Баку, Азербайджан

** Бакинский государственный университет, г. Баку, Азербайджан

Резюме: Синтезирован сорбент на основе сополимера малеинового ангидрида со стиролом, содержащий фрагменты м-фенилендиамина. Идентификацию полученного сорбента, высушенного при 50–60 °С, проводили методом инфракрасной спектроскопии. Был исследован процесс сорбции свинца синтезированным сорбентом. С этой целью было определено влияние pH среды, времени, ионной силы, концентрации металла на сорбцию. Эксперимент показал, что максимальная сорбция происходит при pH = 6. Полная сорбция свинца(II) происходит после 3 ч контакта металла с сорбентом. Результаты анализа влияния ионной силы на сорбцию показали, что увеличение ионной силы до 0,6 моль/л на сорбцию влияет незаметно, последующее же увеличение приводит к значительному уменьшению сорбции. Построена изотерма сорбции свинца синтезированным сорбентом и исследованы оптимальные условия концентрирования. Результаты анализа показали, что с увеличением концентрации ионов свинца(II) в растворе увеличивается количество сорбированного металла, а при концентрации $6 \cdot 10^{-3}$ моль/л оно становится максимальным (pH = 6, $CPb^{+2} = 6 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $V_{об.} = 20$ мл, $m_{сорб.} = 0,05$ г, $CE = 405$ мг/г). Степень извлечения ионов свинца(II) при оптимальных условиях превышает 95 %. Исследование сорбции проводилось в статических и динамических условиях. Изучено влияние разных минеральных кислот ($HClO_4$, H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) с одинаковой концентрацией на десорбцию свинца(II) из сорбента. Эксперимент показал, что максимальная десорбция свинца(II) происходит в серной кислоте. Таким образом, предлагаемая новая комплексная экспрессная методика, включающая предварительное концентрирование свинца(II) синтезированным сорбентом, позволяет количественно выделять свинец(II) из большого объема пробы со сложным фоновым составом.

Ключевые слова: сорбент, сорбция, свинец, концентрирование, десорбция

Информация о статье: Дата поступления 7 ноября 2019.; дата принятия к печати 25 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 31 марта 2020 г.

Для цитирования: Алиев Э.Г., Бахманова Ф.Н., Гамидов С.З., Чырагов Ф.М. Концентрирование свинца(II) хелатообразующим сорбентом, содержащим фрагменты мета-фенилендиамина. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 9. N 4. С. 107–113. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-107-113>

Lead (II) concentration by a chelating sorbent containing meta-phenylenediamine fragments

Elchin H. Aliyev*, Fidan N. Bahmanova**, Sahil Z. Hamidov**, Famil M. Chyragov**

* Azersu Open Joint-Stock Company, Baku, Azerbaijan

** Baku State University, Baku, Azerbaijan

Abstract: A sorbent based on a copolymer of maleic anhydride with styrene, containing m-phenylenediamine fragments was synthesised. After drying at 50–60 °C, the obtained sorbent was identified using IR spectroscopy. Further, a study of lead sorption by a synthesised sorbent was conducted. For this purpose, the effect of pH, time, ionic strength and metal concentration on sorption was determined. According to the experiment, the maximum sorption was established at pH = 6. Complete sorption of lead (II) was

obtained following 3 hours of metal contact with the sorbent. The effect of increase in ionic strength to 0.6 mol/L on sorption was shown to be insignificant, with a subsequent increase leading to a critical decrease in sorption value. The isotherm of lead sorption by the synthesised sorbent was constructed and the optimal concentration conditions studied. The analysis results demonstrated an increase in the concentration of lead (II) ions in the solution to provide higher values of sorbed metal concentration with the maximum occurring at a concentration of $6 \cdot 10^{-3}$ mol/L ($\text{pH} = 6$, $\text{CPb}^{+2} = 6 \cdot 10^{-3}$ mol/L, $V_{\text{sample}} = 20$ mL, $m_{\text{sorb.}} = 0.05$ g, $\text{CE} = 405$ mg/g). Under optimal conditions, the extraction degree of lead (II) ions exceeds 95 %. The study of sorption was carried out both under static and dynamic conditions. Additionally, the effect of various mineral acids (HClO_4 , H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) of the equal concentration on the desorption of lead (II) from the sorbent was studied. The maximum desorption of lead (II) was obtained in sulphuric acid. Thus, the proposed express technique including preliminary concentration of lead (II) with a synthesised sorbent provides quantitative isolation of lead (II) from a large sample volume with a complex background composition.

Keywords: sorbent, sorption, lead, concentration, desorption.

Information about the article: Received November 7, 2019; accepted for publication February 25, 2020; available online March 31, 2020.

For citation: Aliyev EH, Bahmanova FN, Hamidov SZ, Chyragov FM. Lead (II) concentration by a chelating sorbent containing meta-phenylenediamine fragments. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020;10(1):107–113. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-107-113>

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы, такие как кадмий, хром и свинец, являются естественными компонентами земной коры и обычно присутствуют в окружающей природной среде в различных концентрациях. Они попадают в организм человека по пищевой цепочке и из воздуха. Некоторые из этих тяжелых металлов, так называемые микроэлементы (хром, железо, кобальт, медь, марганец, цинк и олово), в низких концентрациях важны для человеческого организма, поскольку необходимы для метаболизма. Однако при более высоких концентрациях они токсичны и вредны для человека. Отравление тяжелыми металлами может вызвать загрязненную питьевую воду, воздух с промышленными выбросами или загрязненная пища. Поэтому анализ природных объектов с целью определения в них тяжелых металлов и токсичных элементов, в том числе и свинца(II), очень актуален сегодня. Для решения этой задачи используют различные химические и физико-химические методы [1–8].

Основные методики определения ионов свинца(II) не всегда удовлетворяют современным требованиям (низкая степень сорбции, неудовлетворительная сорбционная емкость, температура сорбции, ионная сила и др.), возникает необходимость их отделения от сопутствующих элементов. Одним из наиболее перспективных и приемлемых с экологической точки зрения методов извлечения металлов является сорбционное концентрирование с применением полимерных хелатообразующих сорбентов [9–12].

В настоящей работе представлены результаты исследования по извлечению и концентрированию микроколичеств свинца(II) полимерным хелатообразующим сорбентом на основе сопо-

лимера малеинового ангидрида со стиролом, содержащим фрагменты м-фенилендиамина.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Реагенты и растворы. Исходный раствор свинца(II) ($1 \cdot 10^{-2}$ М) готовили растворением точной навески $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ (х.ч.) в дистиллированной воде [13]. Рабочие растворы свинца(II) готовили разбавлением исходного раствора дистиллированной водой.

В работе применен полимерный хелатообразующий сорбент с фрагментами м-фенилендиамина. Сорбент синтезирован по методике, представленной в работе [14]. Полученный сорбент высушен при 50–60 °С.

Для приготовления растворов с необходимой кислотностью использовали фиксанал HCl ($\text{pH} = 0\text{--}2$) и аммиачно-ацетатные буферные растворы ($\text{pH} = 3\text{--}11$). 0,1 N растворы CH_3COOH и NH_4OH готовили из 98-ми и 25 %-х коммерческих препаратов уксусной кислоты и аммиака соответственно. Для того чтобы создать постоянную ионную силу, использовали KCl (ч.д.а).

Сорбционную способность сорбента исследовали в статических условиях. К 50 мг сорбента добавляли 2 мл 10^{-2} М раствора свинца(II) и оставляли в буферной среде при $\text{pH} = 1\text{--}10$. Смесь отфильтровывали, измеряли оптическую плотность при $\lambda = 490$ нм. Количество оставшегося свинца(II) в растворе находили на основе кривой зависимости оптической плотности от концентрации и рассчитывали соответственно количество сорбированных ионов металла.

Для определения значения ионной силы раствора, с которого начинается уменьшение сорбции металла, в разной посуде с одинаковой емкостью и формой были поставлены сорбционные опыты при оптимальном pH . В пробиру вво-

дили 0,05 г сорбента, 2 мл 10^{-2} М раствора металла и разные объемы KCl для создания необходимой ионной силы в растворе. Растворы перемешивали в течение 180 мин. Раствор от сорбента отделяли фильтрацией.

При изучении зависимости десорбции поглощенного металла из сорбента от кислотности и концентрации элюента в статическом режиме 0,05 г сорбента помещали в стакан емкостью 50 мл с раствором металла и оставляли на 3 ч, периодически перемешивая. Затем сорбент отделяли путем фильтрации, сушили, перемещали в пробирки и добавляли одинаковый объем разных кислот, оставляли на 3 ч, фильтровали. В полученном фильтрате определяли концентрацию десорбированного свинца (II).

Для исследования влияния на сорбцию скорости потока раствора пробы и элюента раствор свинца пропускали через миниколонку, содержащую 100 мг сорбента, со скоростью 1–5 мл/мин.

Ход анализа. Для извлечения ионов свинца(II) из речных вод 100 мл отфильтрованной пробы подкисляли 5,0 мл HNO_3 (1 : 1) и пропускали через миниколонку, содержащую 100 мг сорбента, со скоростью потока 1,0 мл/мин. Сорбированные ионы элюировали 5,0 мл 1,0 М HClO_4 . Содержание концентрации Pb(II) в растворе элюата определяли по градуированному графику, предварительно построенному с помощью спектрометра ICP-OES thermo iCAP 7400 Duo.

Аппаратура. Идентификацию сорбента проводили методом ИК-спектроскопии на ИК-Фурье микроскопе LUMOS (фирма BRUKER Германия) в диапазоне волновых частот 600–4000 см^{-1} . pH растворов измеряли с помощью pH-метра марки HANNA edge[®], концентрацию ионов Pb(II) в исходном растворе определяли на приборе Agilent ICP-MS 7700e с использованием программного обеспечения Mass Hunter, а концентрацию поглощенного свинца – на приборе ICP-OES thermo iCAP 7400 Duo. Исследование сорбции проводилось в статических и динамических условиях.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Идентификацию сорбента проводили методом инфракрасной спектроскопии. На ИК-спектре сорбента наблюдаются следующие полосы поглощения:

- деформационные (675, 699, 741, 800, 1487 см^{-1}) и валентные (3034, 3057 см^{-1}) колебания C–H связи замещенного бензольного кольца;
- деформационные (1451 см^{-1}) и валентные (2863, 2917, 2940 см^{-1}) колебания C–H связи группы CH и CH_2 ;
- деформационные (1566 см^{-1}) и валентные (3237 см^{-1}) колебания N–H связи;
- валентные (1703 см^{-1}) колебания C=O группы кислоты;
- валентные (1131 см^{-1}) колебания C–O связи кислоты;

- валентные (1771 см^{-1}) колебания C=O группы сложного эфира;
- валентные (1005, 1085 см^{-1}) колебания C–O связи сложного эфира;
- валентные (1336 см^{-1}) колебания $\text{C}_{\text{ар}}-\text{N}$ связи.

Для определения микроколичеств ионов свинца(II) исследованы условия предварительного концентрирования металла с использованием хелатообразующего сорбента на основе сополимера малеинового ангидрида со стиролом, последующим определением ионов фотометрическим методом. Определены оптимальные условия концентрирования ионов свинца(II) полимерным сорбентом.

Влияние pH на сорбцию. Изучено влияние pH на концентрирование свинца(II) с хелатообразующим сорбентом в диапазоне pH = 1–10. Результаты исследования показали, что количественное извлечение достигается при pH = 6. Полученные результаты при различных значениях pH приведены в табл. 1.

Таблица 1
Сорбционная емкость ионов свинца(II) при различных значениях pH

Table 1
Sorption capacity of lead (II) ions at different pH values

Параметр	Значение							
pH	1	2	3	4	5	6	7	8
CE, мг/г	310	320	325	76	394	405	378	333

Все дальнейшие исследования проводили при pH = 6.

Влияние ионной силы на сорбцию. Изучено влияние ионной силы μ на сорбцию: ионная сила до 0,6 незаметно влияет на сорбцию, последующее же увеличение приводит к значительному уменьшению сорбции (табл. 2). Это связано с тем, что с увеличением ионного окружения функциональных групп уменьшается возможность комплексообразования свинца(II).

Влияние времени на сорбцию металла. Также была исследована зависимость сорбции от времени (табл. 3). Полная сорбция свинца(II) происходит после 3 ч при статических условиях.

Таблица 2
Влияние ионной силы раствора на величину сорбции свинца (II):
 $m_{\text{сорб}} = 50$ мг, $V = 20$ мл, pH = 6

Table 2
Effect of the ionic strength on the lead (II) sorption: $m_{\text{sorb}} = 50$ mg, $V = 20$ ml, pH = 6

Параметр	Значение							
μ	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	
CE, мг/г	405	405	410	302	194	87	78	

Таблица 3

Влияние времени на величину сорбции свинца(II): $m_{\text{сорб}} = 50 \text{ мг}$, $V = 20 \text{ мл}$, $\text{pH} = 6$

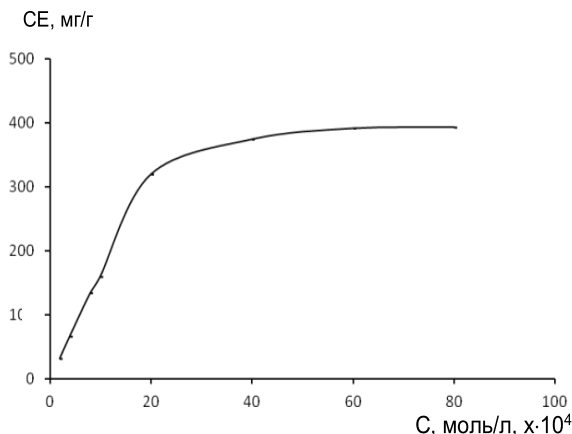
Table 3

Effect of time on the lead(II) sorption:
 $m_{\text{sorb}} = 50 \text{ mg}$, $V = 20 \text{ ml}$, $\text{pH} = 6$

Параметр	Значение						
t, мин	30	60	90	120	150	180	210
СЕ, мг/г	67	195	281	316	377	405	405

Влияние концентрации свинца(II) на процесс сорбции. Чтобы определить оптимальные условия сорбции свинца(II) с полученным сорбентом, было изучено влияние концентрации металла на сорбцию (на рисунке). Результаты анализа показали, что с увеличением концентрации ионов свинца(II) в растворе увеличивается количество сорбированного металла, а при концентрации, равной $6 \cdot 10^{-3}$ моль/л, оно становится максимальным ($\text{pH} = 6$; $\text{C}_{\text{Pb}^{+2}} = 6 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $V_{\text{об.}} = 20 \text{ мл}$; $m_{\text{сорб.}} = 0,05 \text{ г}$; $\text{CE} = 405 \text{ мг/г}$).

Изучение десорбции. Изучено влияние разных минеральных кислот (HClO_4 , H_2SO_4 , HNO_3 , HCl) одинаковой концентрации на десорбцию свинца(II) из сорбента. Эксперимент показал, что максимальная десорбция свинца(II) происходит в серной кислоте (табл. 4).



Изотерма сорбции свинца(II) с полученным сорбентом: $m_{\text{сорб}} = 30 \text{ мг}$; $V = 20 \text{ мл}$; $\text{pH} = 6$

Isotherm of sorption of lead (II) with the obtained sorbent: $m_{\text{sorb}} = 30 \text{ mg}$; $V = 20 \text{ ml}$; $\text{pH} = 6$

Исследование проводили также в динамических условиях. Была изучена зависимость сорбции от скорости подачи растворов пробы и элюента.

Влияние скорости потока растворов пробы и элюента. В результате эксперимента было установлено, что оптимальная скорость потока равна 1,0 мл/мин (табл. 5).

Разработанная методика была применена для выделения свинца(II) из воды реки Гасансу

Таблица 4

Влияние концентрации разных кислот на степень извлечения свинца(II), % ($n = 5$)

Table 4

Effect of different acids on the lead (II) desorption rate, % ($n = 5$)

Параметр	HCl	HClO ₄	HNO ₃	H ₂ SO ₄
Концентрация, моль/л	0,5	0,5	0,5	0,5
	1,5	1,0	1,0	1,5
	2,0	2,0	2,0	2,0
Степень десорбции, %	79	85	85	87
	87	88	90	94
	90	93	94	96

Таблица 5

Влияние скорости потока растворов пробы на сорбцию свинца(II), % ($n = 5$)

Table 5

Effect of sample flow rate on sorption of lead (II) (%) ($n = 5$)

Скорость потока пробы, мл/мин	R, %
0,5	90
1,0	96
1,5	93
2,0	89
2,5	84
3,0	71
3,5	65
4,0	59
4,5	52
5,0	46

Максимальная десорбция поглощенных ионов Pb(II) происходит при скорости потока элюента, равной 1,5 мл/мин (табл. 6). В дальнейших исследованиях в качестве элюента использовали 5,0 мл 1,0 M H_2SO_4 при скорости потока 1,5 мл/мин.

Таблица 6

Влияние скорости потока элюента на степень извлечения свинца(II), % ($n = 5$)

Table 6

Effect of eluent flow rate on the extraction of lead (II), % ($n = 5$)

Скорость потока пробы, мл/мин	R, %
0,5	85
1,0	88
1,5	95
2,0	90
2,5	86
3,0	80
3,5	70
4,0	62
4,5	53
5,0	41

Актафинского района Азербайджанской Республики. Полученные результаты обрабо-

таны статистически согласно методикам, представленным в работе М.И. Булатова и И.П. Калинин¹ (табл. 7).

Таблица 7
Содержание свинца(II) в реке Гасансу
Актафинского района Азербайджанской
Республики (n = 5, P = 0,95)

Table 7
Lead (II) determination in the Gasansu River
of the Agstafa region
of the Azerbaijan Republic (n = 5, P = 0,95)

Проба	Найдено Pb, мкг/л	
	ICP-OES thermo iCAP 7400 Duo	Фотометрическим методом
Первая	0,187±0,069	0,181±0,041
Вторая	0,185±0,054	0,184±0,056
Третья	0,186±0,060	0,185±0,060

Результаты анализа показали возможность использования синтезированного сорбента для

сорбционно-спектрофотометрического определения свинца(II). При оптимальных условиях проведения десорбции свинца(II) его сорбционная емкость составила 405,0 мг/г, в то время как по результатам исследования других авторов она составила 8,4 [15] и 11,0 мг/г [16]. Таким образом, разработанный авторами настоящей статьи метод является более экономичным, быстрым и экологически безопасным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтезирован сорбент на основе сополимера малеинового ангидрида со стиролом, модифицированного м-фенилендиамином. Полученный сорбент был использован для извлечения свинца(II) из речной воды. Исследование показало, что в оптимальных условиях концентрирования ионы свинца(II) количественно сорбируются и десорбируются ($R > 95\%$). Предлагаемая методика, включающая предварительное концентрирование свинца(II) данным сорбентом, позволяет количественно выделять свинец(II) из большого объема пробы со сложным фоновым составом.

¹ Булатов М.И., Калинин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методом анализа; 3-е изд., испр. и доп. Л.: Химия. 1972. 407 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kocot K., Sitko R. Trace and ultratrace determination of heavy metal ions by energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry using graphene as solid sorbent in dispersive micro solid-phase extraction // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. 2014. Vol. 94-95. P. 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2014.02.003>
2. Karadaş C., Kara D. On-line preconcentration and determination of trace elements in waters and reference cereal materials by flow injection – FAAS using newly synthesized 8-hydroxy-2-quinoline carboxaldehyde functionalized Amberlite XAD-4 // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013. Vol. 32. Issue 1. P. 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.07.003>
3. Шачнева Е.Ю., Арчибасова Д.Е. Способы определения свинца в объектах окружающей среды // *Астраханский вестник экологического образования* 2015. N 2 (32). С. 119–121.
4. Абдулазиз М.Б., Бахтеев С.А., Юсупов Р.А. Определение свинца в воде в диапазоне концентраций 0,0030–0,0200 мг/л методом РФА ПВО // *Вестник Технологического университета*. 2016. Т. 19. N 5. С. 104–106.
5. Onwu F.K., Ogah S.P.I. Studies on the effect of pH on the sorption of cadmium (II), nickel (II), lead (II) and chromium (VI) from aqueous solutions by African white star apple (*Chrysophyllum albidum*) shell // *African Journal of Biotechnology*. 2010. Vol. 9. Issue 42. P. 7086–7093. <https://doi.org/10.5897/AJB10.267>
6. Sahoo H.B., Tripathy S.B., Equeenuddin S.M., Sahoo P.K. Utilization of ochre as an adsorbent to remove Pb (II) and Cu (II) from contaminated aqueous media // *Environmental Earth Sciences*. 2014. Vol. 72. Issue 1. P. 243–250. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2950-6>
7. Oves M., Khan M.S., Zaidi A. Biosorption of heavy metals by *Bacillus thuringiensis* strain OSM29 originating from industrial effluent contaminated north Indian soil // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2013. Vol. 20. Issue 2. P. 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.006>
8. Pyrzynska K., Stafiej A. Sorption behavior of Cu (II), Pb (II), and Zn (II) onto carbon nanotubes // *Solvent Extraction and Ion Exchange*. 2012. Vol. 30. Issue 1. P. 41–53. <https://doi.org/10.1080/07366299.2011.581056>
9. Алиева Р.А., Абилова У.М., Гусейнова Н.С., Искендеров Г.Б., Чырагов Ф.М. Определение свинца в печени с предварительным концентрированием на хелатообразующем сорбенте // *Азербайджанский фармацевтический и фармакотерапевтический журнал*. 2015. N 2. С. 29–32
10. Aliyeva R.A., Huseynova N.S., Abilova U.M., Iskandarov G.B., Chyragov F.M. Determination of lead (II) in liver corpse of a slaughtered cattle with preconcentration on a chelating sorbent // *American Journal of Analytical Chemistry*. 2016. Vol. 7. Issue 8. P. 617–622. <https://doi.org/10.4236/ajac.2016.78057>
11. Alieva R.A., Abilova U.M., Chyragov F.M., Guseynova N.S. Adsorption-photometric determination of lead in cattle liver // *Journal of Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 72. Issue 11. P. 1161–1166. <https://doi.org/10.1134/S1061934817110028>

12. Гаджиева С.Р., Бахманова Ф.Н., Алирзаева Э.Н., Шамилов Н.Т., Чырагов Ф.М. Концентрирование урана хелатообразующим сорбентом на основе сополимера малеинового ангидрида со стиролом // *Радиохимия*. 2018. Т. 60. № 2. С. 175–179.

13. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. М.: Наука. 1964. 261 с.

14. Alieva R.A., Veliev V.N., Gamidov S.Z., Chyragov F.M. Preconcentration of molybdenum(VI) on polymeric adsorbents and its photometric determination with bis(2,3,4-trihydroxyphenylazo)benzidine in the presence of 1,10-phenanthroline // *Journal of Analytical Chemistry*. 2008. Vol. 63. Issue 9. P. 832–835. <https://doi.org/10.1134/S1061934808090049>

1134/S1061934808090049

15. Gouda A.A., Zordok W.A. Solid-phase extraction method for preconcentration of cadmium and lead in environmental samples using multiwalled carbon nanotubes // *Turkish Journal of Chemistry*. 2018. Vol. 42. P. 1018–1031. <https://doi.org/10.3906/kim-1711-90>

16. Alothman Z.A., Yilmaz E., Habila M., Soy-lak M. Separation and preconcentration of lead(II), cobalt(II), and nickel(II) on EDTA immobilized activated carbon cloth prior to flame atomic absorption spectrometric determination in environmental samples // *Turkish Journal of Chemistry*. 2015. Vol. 39. Issue 5. P. 1038–1049. <https://doi.org/10.3906/kim-1502-65>

REFERENCES

1. Kocot K, Sitko R. Trace and ultratrace determination of heavy metal ions by energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry using graphene as solid sorbent in dispersive micro solid-phase extraction. *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. 2014;94-95:7–13. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2014.02.003>

2. Karadaş C, Kara D. On-line preconcentration and determination of trace elements in waters and reference cereal materials by flow injection – FAAS using newly synthesized 8-hydroxy-2-quinoline carboxaldehyde functionalized Amberlite XAD-4. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013;32(1): 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.07.003>

3. Shachneva EYu, Archibasova DE. Methods for determination of lead in environmental objects. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* = Astrakhan Bulletin for Environmental Education. 2015;2:119–121. (In Russian)

4. Abdulaziz MB, Bakhteev SA, Yusupov RA. Determination of lead in water in the concentration range of 0.0030 - 0.0200 mg/l by the XRF method of air defense. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* = Bulletin of the Technological University. 2016;19(5):104–106. (In Russian)

5. Onwu FK, Ogah SPI. Studies on the effect of pH on the sorption of cadmium (II), nickel (II), lead (II) and chromium (VI) from aqueous solutions by African white star apple (*Chrysophyllum albidum*) shell. *African Journal of Biotechnology*. 2010;9(42): 7086–7093. <https://doi.org/10.5897/AJB10.267>

6. Sahoo HB, Tripathy SB, Equeenuddin SM, Sahoo PK. Utilization of ochre as an adsorbent to remove Pb (II) and Cu (II) from contaminated aqueous media. *Environmental Earth Sciences*. 2014;72(1):243–250. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2950-6>

7. Oves M, Khan MS, Zaidi A. Biosorption of heavy metals by *Bacillus thuringiensis* strain OSM29 originating from industrial effluent contaminated north Indian soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2013;20(2):121–129. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.006>

8. Pyrzynska K, Stafiej A. Sorption behavior of

Cu (II), Pb (II), and Zn (II) onto carbon nanotubes. *Solvent Extraction and Ion Exchange*. 2012; 30(1): 41–53. <https://doi.org/10.1080/07366299.2011.581056>

9. Alieva RA, Abilova UM, Guseinova NS, Iskenderov GB, Chyragov FM. Determination of lead in the liver with preliminary concentration on a chelating sorbent. *Azerbaijdzhanskii farmatsevticheskii i farmakoterapevticheskii zhurnal* = Azerbaijan Pharmaceutical and Pharmacotherapy Journal. 2015;2:29–32. (In Russian)

10. Aliyeva RA, Huseynova NS, Abilova UM, Iskandarov GB, Chyragov FM. Determination of lead (II) in liver corpse of a slaughtered cattle with preconcentration on a chelating sorbent. *American Journal of Analytical Chemistry*. 2016;7(8):617–622. <https://doi.org/10.4236/ajac.2016.78057>

11. Alieva RA, Abilova UM, Chyragov FM, Guseinova NS. Adsorption-photometric determination of lead in cattle liver. *Journal of Analytical Chemistry*. 2017;72(11):1161–1166. <https://doi.org/10.1134/S1061934817110028>

12. Gadzhieva SR, Bakhmanova FN, Alirzaeva EN, Shamilov NT, Chyragov FM. Uranium preconcentration with a chelating sorbent based on maleic anhydride–styrene copolymer. *Radiokhimiya* = Radiochemistry. 2018;60(2):175–179. (In Russian)

13. Korostelev PP. *Preparation of Solutions for Analytical Works*. Moscow: Nauka; 1964. 261 p. (In Russian)

14. Alieva RA, Veliev VN, Gamidov SZ, Chyragov FM. Preconcentration of molybdenum(VI) on polymeric adsorbents and its photometric determination with bis(2,3,4-trihydroxyphenylazo)benzidine in the presence of 1,10-phenanthroline. *Journal of Analytical Chemistry*. 2008;63(9):832–835. <https://doi.org/10.1134/S1061934808090049>

15. Gouda AA, Zordok WA. Solid-phase extraction method for preconcentration of cadmium and lead in environmental samples using multiwalled carbon nanotubes. *Turkish Journal of Chemistry*. 2018; 42:1018–1031. <https://doi.org/10.3906/kim1711-90>

16. Alothman ZA, Yilmaz E, Habila M, Soy-lak M. Separation and preconcentration of lead(II), cobalt(II), and nickel(II) on EDTA immobilized activated

carbon cloth prior to flame atomic absorption spectrometric determination in environmental samples.

Turkish Journal of Chemistry. 2015;39(5):1038–1049. <https://doi.org/10.3906/kim-1502-65>

Contribution

Алиев Э.Г., Бахманова Ф.Н., Гамидов С.З., Чырагов Ф.М. выполнили экспериментальную работу, на обосновании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Алиев Э.Г., Бахманова Ф.Н., Гамидов С.З., Чырагов Ф.М. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Критерии авторства

Elchin H. Aliyev, Fidan N. Bahmanova, Sahil Z. Hamidov, Famil M. Chyrarov carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Elchin H. Aliyev, Fidan N. Bahmanova, Sahil Z. Hamidov, Famil M. Chyrarov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

AUTHORS' INDEX

Алиев Эльчин Габиль,
докторант, заведующий Центральной лабораторией ОАО «Азерсу»,
Az 1010, г. Баку, ул. А. Аббасова, 110,
Азербайджан,
✉ e-mail: ciraqov@mail.ru

Бахманова Фидан Нариман,
к.х.н., старший научный сотрудник,
Бакинский государственный университет,
Az 1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,
Азербайджан,
e-mail: fidan_chem@rambler.ru

Гамидов Сахиль Захид,
к.х.н., доцент,
Бакинский государственный университет,
Az 1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,
Азербайджан,
e-mail: ciraqov@mail.ru

Чырагов Фамиль Муса,
д.х.н., профессор,
Бакинский государственный университет,
Az 1148, г. Баку, ул. З. Халилова, 23,
Азербайджан,
e-mail: ciraqov@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elchin H. Aliyev,
Azersu Open Joint-Stock Company,
Central Laboratory,
110 A Abbasov St., Baku Az 1010,
Azerbaijan,
✉ e-mail: ciraqov@mail.ru

Fidan N. Bahmanova,
Ph.D. (Chemistry), Senior Researcher,
Baku State University,
23 Z. Khalilov St., Baku AZ-1148,
Azerbaijan,
e-mail: fidan_chem@rambler.ru

Sahil Z. Hamidov,
Ph.D. (Chemistry), Associate Professor,
Baku State University,
23 Z. Khalilov St., Baku AZ-1148,
Azerbaijan,
e-mail: ciraqov@mail.ru

Famil M. Chyrarov,
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Baku State University,
23 Z. Khalilov St., Baku AZ-1148,
Azerbaijan,
e-mail: ciraqov@mail.ru