

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ / APPLIED ECOLOGY

Оригинальная статья / Original article

УДК. 66.067.8.081.3+541.183

DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-169-177

ПРИМЕНЕНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ЛИГНИНА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РТУТИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

© Е.А. Чернышева*, В.А. Грабельных**, Е.П. Леванова**, Н.А. Корчевин*

*Иркутский государственный университет путей сообщения,
Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

**Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН,
Российская Федерация, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1.

Представлены данные по применению серосодержащего сорбента, полученного на основе много-тоннажного отхода лигнина, а также хлорорганических отходов производства эпихлоргидрина, для извлечения ртути и ее солей из водных растворов. Для получения сорбентов лигнин предварительно был подвергнут действию хлорной водой (содержание хлора 3,5–5,7%). Полученные порошки сорбентов отличаются содержанием серы и содержанием остаточного хлора в готовом продукте. Приводятся результаты исследований сорбционных свойств сорбента, а также его кинетических и термодинамических характеристик. Сорбционная активность данного сорбента при извлечении ионов ртути из растворов при комнатной температуре имеет хорошие показатели. Кинетические исследования согласуются с комплексно-координационным механизмом поглощения ионов ртути. Данные исследования помогут решить ряд глобальных экологических проблем: очистка сточных вод от соединений тяжелых металлов, утилизация хлорорганических отходов производства эпихлоргидрина и многотоннажного отхода целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности – лигнина.

Ключевые слова: очистка сточных вод, ртуть, лигнин, хлорорганические отходы, адсорбция.

Формат цитирования: Чернышева Е.А., Грабельных В.А., Леванова Е.П., Корчевин Н.А. Применение серосодержащего сорбента на основе лигнина для извлечения ртути из водных растворов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. Т. 7, N 3. С. 169–177. DOI: 10.21285/2227-2925-2017-7-3-169-177

THE USING OF SULFUR-CONTAINING LIGNIN BASED SORBENT FOR EXTRACTION OF MERCURY FROM AQUEOUS SOLUTIONS

© Е.А. Chernysheva*, V.A. Grabelnykh**, E.P. Levanova**, N.A. Korchevin*

*Irkutsk State University of Railway Transport,
15, Chernyshevskogo St., Irkutsk, 664074, Russia

**A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS,
1, Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russian Federation

The article presents data on the use of sulfur-containing sorbent obtained on the basis of tonnage of waste lignin, as well as on the basis of organochlorine wastes from epichlorohydrin production, for the extraction of mercury and mercury salts from aqueous solutions. For obtaining of sorbents lignin previously had been subjected to chlorination by the action of chlorine water (chlorine content of 3.5 – 5.7 per cent). The obtained powders of sorbents differ in sulphur content and content of residual chlorine in the finished product. The results of investigations of sorption properties of the sorbent, as well as its kinetic and thermodynamic characteristics. The sorption activity of this sorbent, while the extraction of mercuric ions from solutions at room temperature has a good performance. Kinetic studies are consistent with the comprehensive coordination mechanism of absorption of mercury ions. These studies will help to solve some global environmental problems, including wastewater treatment from heavy metals, recycling organochloride wastes from epichlorohydrin production and also utilization of large-tonnage waste of pulp and paper industry and hydrolytic lignin.

Keywords: wastewater treatment, Hydrargyrum, lignin, organochlorine residues, adsorption

For citation: Chernysheva E.A., Grabelnykh V.A., Levanova E.P., Korchevin N.A. The using of sulfur-containing lignin based sorbent for extraction of mercury from aqueous solutions. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2017, vol. 7, no. 3, pp. 169–177 (in Russian). DOI: 10/21285/2227-2925-2017-7-3-169-177

ВВЕДЕНИЕ

Ртуть (Hg^{+2}) относится к первому классу опасности химических элементов [1]. Даже в небольшом количестве она способна оказывать токсичное воздействие на иммунную, нервную, пищеварительную системы, на легкие, почки, кожу и глаза, а также вызывать мутагенные изменения в ДНК [2–4]. Несмотря на это, ртуть активно используют с древних времен. Широкое применение в металлургии, технике, химической промышленности, сельском хозяйстве и медицине приводит к поступлению в окружающую среду и воздействию ртути и ее солей на объекты окружающей среды и здоровье человека [5–8]. Примером последствий воздействия антропогенного загрязнения является одно из самых значительных отравлений ртутью в истории, которое произошло в начале 50-х годов XX в. в японском городе Минамата, в результате длительного сброса в море на протяжении 1932–1968 годов жидких отходов, содержащих высокие концентрации солей ртути. В течение десятков лет соединения ртути интенсивно накапливались в организмах, составляющих экосистему города, и воздействовали на людей, поражая центральную и периферическую нервные системы. Это привело к более чем трем тысячам человеческих жертв и пострадавших от «болезни Минамата» [9–11].

В Иркутской области в Байкало-Ангарском регионе от деятельности предприятий по производству хлора и каустика ртутным способом (1970–1998 гг.) поступление ртути в Братское водохранилище превысило 80 т, только сбросы со сточными водами составили более 37 т, выбросы в атмосферу – 75 т и т.д. [0]. После закрытия главного источника загрязнения, поступление ртути заметно снизилось. Однако на основании исследований, проводимых в 2000-х годах, можно полагать, что экологическое состояние Братского водохранилища остается критическим. Содержание ртути в почве, воде, растениях и многих видах рыб превышает ПДК в некоторых случаях в 2–10 раз [12].

С развитием промышленных предприятий очистка сточных вод от соединений тяжелых металлов, в том числе ртути, становится важной экологической задачей [13–15]. Для ее решения рационально использовать метод адсорбции, при котором эффективность очистки

может достигать 80–95% и выше [16–18]. Эффективность данного метода зависит от используемого сорбента. Из существующего множества природных и искусственно созданных материалов, которые могут использоваться в качестве адсорбента (активированные угли, торф, опилки, силикагели и др.) [16, 19], большинство не пригодны для решения поставленной задачи

, т.к. имеют ряд недостатков: низкую сорбционную активность по отношению к тяжелым металлам; плохие кинетические характеристики; низкую механическую прочность; высокую стоимость и др [20–25].

Для обеспечения высокой степени водочистки необходимо создание новых высокоэффективных сорбентов для очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов, которые удобны в применении, обладают достаточной прочностью, доступны и недороги [19].

Поскольку ртуть относится к тиоловым ядам [2], она образует прочные химические связи с атомами серы серосодержащих органических соединений. На этом принципе основано использование серосодержащих сорбентов для извлечения ртути [24].

Нами был предложен новый серосодержащий сорбент, полученный на основе лигнина и хлорорганических отходов производства эпихлоргидрина, который позволяет производить эффективную очистку сточных вод от соединений тяжелых металлов, в данном случае от ртути и ее солей [26].

Лигнин – природный сетчатый полимер, образующийся как отход в большом количестве на предприятиях целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности. Лигнин в качестве сорбента используют крайне редко, в основном его применяют для получения активированных углей или модифицируют, получая новые более эффективные сорбенты. Ключевым параметром для возможности использования лигнина в адсорбционных технологиях очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов [0], является его сложная пористая структура, состоящая в основном из фенилпропановых фрагментов и включающая атомы кислорода (-ОН, -О-) [28].

Целью работы является исследование возможности применения серосодержащих сорбентов, полученных из лигнина и хлорорга-

нических отходов, для извлечения соединений ртути из водных растворов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения сорбента лигнин предварительно был подвергнут хлорированию действием хлорной воды (содержание хлора 3,5–5,7%). Полученный хлорлигнин вводили в поликонденсацию с полисульфидом натрия (Na_2S_n) в присутствии хлорорганических отходов производства эпихлоргидрина, содержащих ~ 77% 1,2,3-трихлорпропана. При температуре 40–45 °С образуются мелкие гранулы (1–2 мм в диаметре) темно-коричневого сорбента, содержащего 20–60% серы. Количество вводимой в сорбент серы зависит от величины n в используемом для поликонденсации полисульфиде натрия Na_2S_n . Более подробно получение серосодержащего сорбента описано в работе [26].

С использованием модельных растворов (HgCl_2 или $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$) с разной начальной концентрацией Hg^{+2} в лабораторных условиях были исследованы термодинамические и кинетические характеристики полученного сорбента при извлечении ионов ртути (рис. 1 и 2).

Прежде всего была исследована возможность максимального извлечения Hg^{+2} из водных растворов с начальной концентрацией $C_0=5000$ мг/л (таблица) [0 Остаточная концентрация ионов Hg^{+2} в растворах определялась фотометрическим методом анализа с помощью фотоколориметра (КФК-3-«ЗОМЗ») [29]. Сорбционная активность сорбента рассчитывалась по формуле

$$A = \frac{(C_0 - C_K) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

где A – величина адсорбции (мг/г); C_0 – начальная концентрация металла в исходном растворе (мг/мл); C_K – конечная концентрация после завершения процесса (мг/мл); V – объем раствора (мл); m – масса используемого адсорбента (г).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При сорбционном извлечении ионов металла из водных растворов важнейшим фактором является зависимость сорбционной активности сорбента от значения рН растворов. Нами были проведены исследования по выявлению оптимального значения рН для извлечения ионов ртути сорбентом № 2 из таблицы (рис. 1). По результатам полученных данных адсорбцию необходимо проводить при значении рН от 1 до 3. При рН>7 исследования не про-

водились, так как уже при значении рН=7 визуально наблюдается осадок, образующийся за счет гидролиза солей ртути. Это способствует кажущемуся увеличению сорбционной активности, поскольку концентрация соединений ртути в растворе уменьшается.

Для определения влияния температуры на сорбционную активность сорбента адсорбцию проводили при температурах 20, 40 и 60 °С путем трехчасового встряхивания навески сорбента и модельного раствора с разной начальной концентрацией Hg^{+2} . На рис. 2 представлена зависимость величины адсорбции от температуры (изотермы адсорбции ионов ртути). При температуре 20 °С достигается наиболее эффективное извлечение. При температурах 40 и 60 °С на полученных изотермах наблюдаются экстремумы. С повышением температуры положение максимумов на изотермах смещается в область более низких концентраций. Это позволяет предположить, что наличие экстремумов связано с более эффективным протеканием десорбции с ростом температуры. Исходя из результатов, полученных при исследовании термодинамических характеристик, исследования кинетических характеристик сорбента проводились на модельных растворах Hg^{+2} с начальной концентрацией $C_0=1$ мг/мл при температуре 20 °С (рис. 3).

Полученная кинетическая кривая (20 °С) имеет классический вид: с увеличением времени процесса остаточная концентрация ртути в растворе уменьшается. Наиболее существенное уменьшение, соответствующее эффективному протеканию адсорбции, наблюдается в течение первого часа.

Практически линейный ход кинетической кривой на этом участке позволяет предположить первый кинетический порядок процесса [30]:

$$\frac{dC}{d\tau} = -k \cdot C, \quad (2)$$

где C – концентрация ртути в растворе; k – константа скорости (мин^{-1}).

Интегрирование этого уравнения позволяет получить кинетическую модель адсорбции ионов ртути серосодержащим сорбентом на основе лигнина и рассчитать константу скорости [30]:

$$C = C_0 \cdot e^{-k\tau} \quad (3)$$

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C} \quad (4)$$

Извлечение ртути ($C_0=5000$ мг/л) сорбентами с различным содержанием серы

Extraction of mercury ($C_0=5000$ mg/L) by sulphur-containing sorbents

| Сорбент | Содержание S, % | Активность извлечения Hg^{+2} , мг/г |
|---------|-----------------|--|
| 1 | 26 | 367 |
| 2 | 39 | 436 |
| 3 | 60 | 398 |

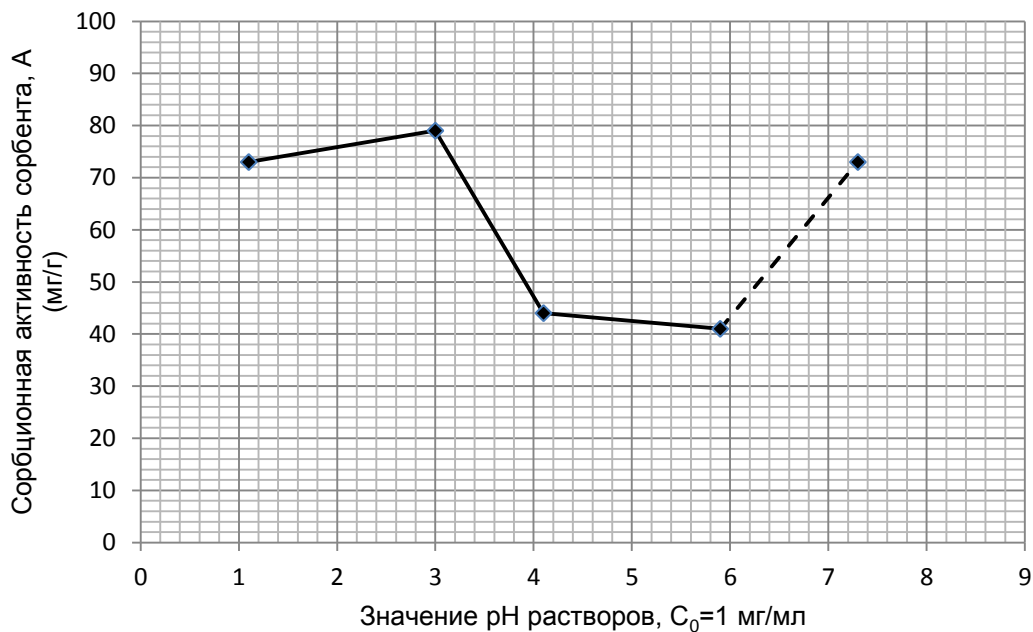


Рис. 1. Зависимость адсорбции от pH растворов

Fig. 1. Adsorption versus pH of solutions

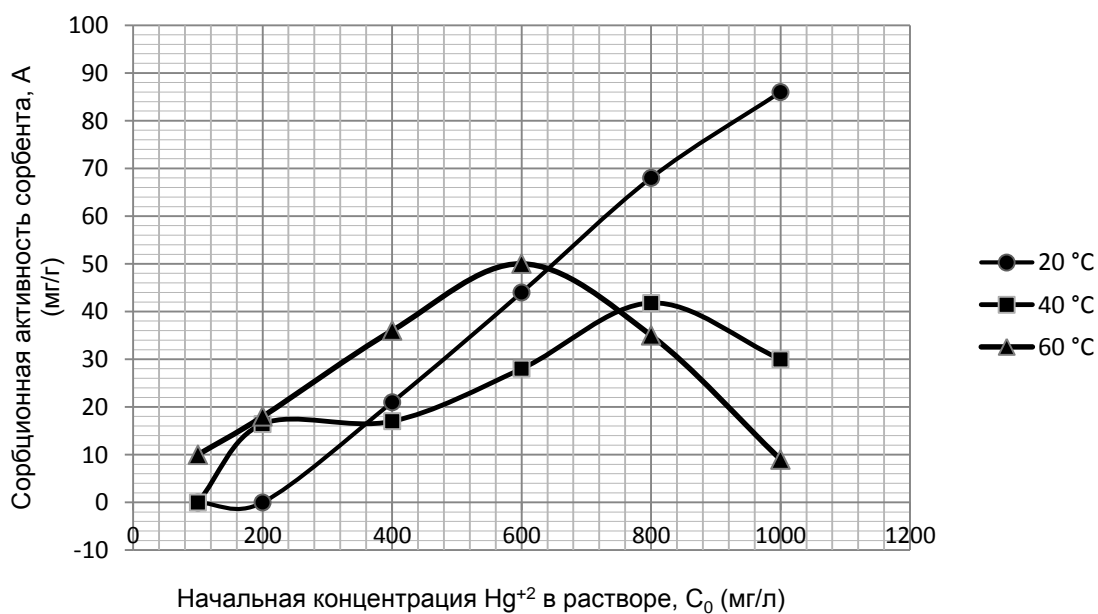


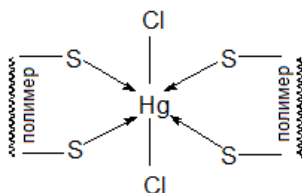
Рис. 2. Изотермы адсорбции ионов ртути при различных температурах

Fig. 2. Adsorption isotherms of mercury ions at different temperatures

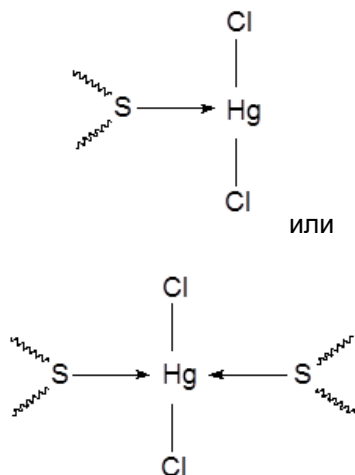
Для интервала времени $\tau=60$ мин,
 $C_0=1000$ мг/л, $C_k=120$ мг/л имеем

$$k = \frac{1}{60} \ln \frac{1000}{120} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ мин}^{-1} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} \quad (5)$$

Первый порядок реакции может соответствовать как диффузионной, так и кинетической области протекания процесса. Однако с учетом того, что коэффициенты диффузии большинства ионов металлов в водных растворах имеют порядок $10^{-4}-10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}^{-1}$ [31], можно предположить что суммарная скорость адсорбции лимитируется именно процессом диффузии ионов ртути к активным центрам сорбента. Наличие в сорбенте большого числа атомов серы обеспечивает быстрое протекание непосредственно акта адсорбции по комплексно-координационному механизму [32]:



Однако образование такого комплекса требует определенного геометрического соответствия расположения атомов серы на поверхности твердого сорбента, что не всегда бывает возможным. В случае координации ртути с меньшим числом атомов серы:



наблюдается менее прочная адсорбция, для которой при повышенной температуре происходит обратный процесс – десорбция.

Именно по этой причине на кинетической кривой, полученной при температуре 40°C имеется максимум, то есть концентрация ионов ртути в растворе после существенного снижения (~ 100 мин) вновь увеличивается. Затем с течением времени ионы ртути занимают более благоприятные места в порах сорбента и концентрация ртути в растворе снова уменьшается. Аналогичный ход кинетических кривых при использовании координирующих сорбентов (наличие максимумов) отмечен в литературе [33].

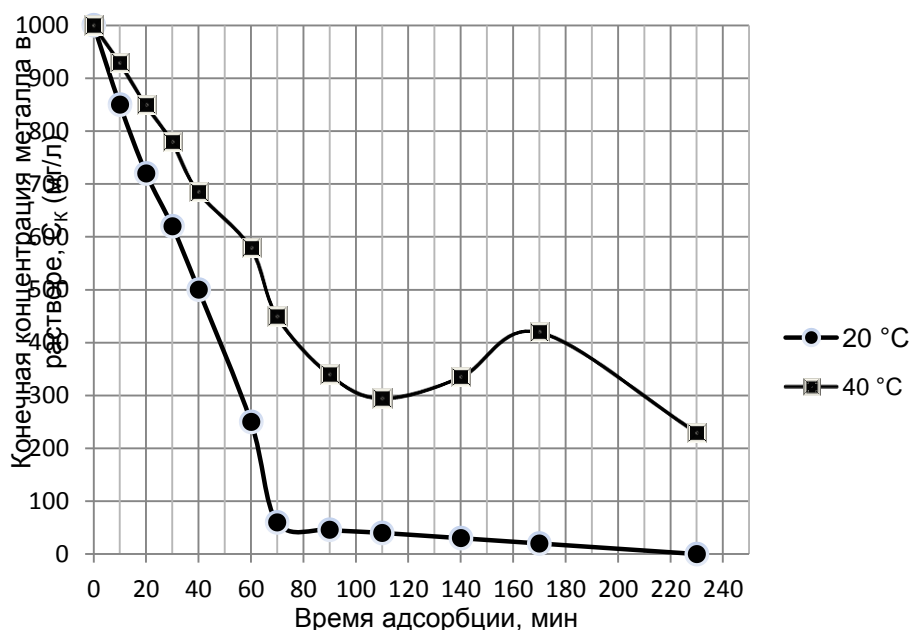


Рис. 3. График зависимости сорбционной активности сорбента от времени адсорбции ($C_0=1$ г/л)

Fig. 3. Sorption activity versus time of adsorption ($C_0=1$ g/L)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный серосодержащий сорбент на основе лигнина является более эффективным, чем применяемые сорбенты в настоящее время, для очистки сточных вод от ртути и ее солей. При использовании данного сорбента процесс адсорбции начинается в момент контакта сорбента с модельным раствором и проходит достаточно эффективно при комнатной температуре, что позволяет снизить энергозатраты. Также необходимо отметить, что применение данного серосодержащего сорбента в

процессах очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов решает несколько экологических проблем, таких как:

- очистка сточных вод от соединений тяжелых металлов;
- утилизация многотоннажного отхода целлюлозно-бумажной и гидролизной промышленности – лигнина;
- утилизация хлорорганических отходов;
- создание высокоэффективных сорбентов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1992. 170 с.
2. Давыдова С.Л., Тагасов В.И. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. М.: Изд-во РУДН, 2002. 140 с.
3. Сотникова Е.В., Дмитриенко В.П. Техносферная токсикология. СПб.: Лань, 2013. 400 с.
4. Критерии санитарно-гигиенического состояния окружающей среды, Т. 1. Ртуть. Совместное издание ВОЗ и программы ООН по окружающей среде. М.: Медицина, 1979. 149 с.
5. Руш Е.А., Давыденко А.Ю. Комплексная геоэкологическая оценка воздействия импактного источника ртутного загрязнения на объекты окружающей среды. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. 111 с.
6. Adriano D.C. Metals in the Terrestrial Environment. Springer. Verlag: Berlin etc., 1984. 533 p.
7. Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и ее соединения в окружающей среде. Киев: Вища школа, 1990. 286 с.
8. Гладышева В.П., Левицкая С.А., Филиппова Л.М. Аналитическая химия ртути. М.: Наука, 1974. 228 с.
9. Akagi H. Analytical methods for evaluating human exposure to mercury due to gold mining. Proceedings of The International workshop on «Health and Environmental Effects of Mercury Due to Mining Operations». Published by National Institute for Minamata Disease, Environmental Agency, Minamata City. Japan, 1998. P. 131–141.
10. Makalinao I.R., Galang R.M., Maramba N.P.C., The management and clinical outcome of metallic mercury injection among Filipino adolescents. Proceedings of The International workshop on «Health and Environmental Effects of Mercury Due to Mining Operation». Published by National Institute for Minamata Disease, Environmental Agency, Minamata City, Japan. 1998. P. 50–60.
11. Общая токсикология / Под ред. А.О. Лойта. СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2006. 224 с.
12. Калмычков Г.В., Коваль П.В., Остроумов В.А., Гордус А.А., Андрулайтис Л.Д., Остроумов Е.А. Ртуть в рыбе Братского водохранилища. В кн.: Проблемы Земной цивилизации: Доклады конференции «Теоретические и практические проблемы безопасности Сибири и Дальнего Востока» (8 июня 1999). Иркутск: ИрГТУ. Выпуск первый, часть 1, 1999. С. 105–109.
13. Bayens W., Edinghaus R., Vasiliev O. (Eds.), Global and Regional Mercury Cycles, Fluxes and Balances. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, 1995. P. 303–315.
14. Gray J.E. and Sanzolone R.F. (Eds.) Environmental Studies of Mineral Deposits in Alaska. – U.S. Geological Survey Bulletin, no. 2156, 1996.
15. Lacedra L.D., Salomons W. Mercury in the Amazon: A Chemical Time Bomb. A report sponsored by the Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. Chemicat Time Bomb Project. – Netherlands, 1991. 47 p.
16. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. 168 с.
17. Шумяцкий Ю.И. Промышленные адсорбционные процессы. М.: КолосС, 2009. 183 с.
18. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1984. 592 с.
19. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 1989. 512 с.
20. Ши-сянь В.В., Гумаров Р.Х., Агзамходжаев А.А. Угольные адсорбенты для очистки сточных вод // Экология производства. 2012. N 2. С. 66–68.
21. Холмейдик А.Н., Земнухова Л.А. Удаление ионов марганца из водных растворов сорбентами на основе рисовой шелухи // Экология и промышленность России. 2011. N 11. С. 34–35.
22. Измайлова Д.Р., Куролап Н.С., Стоянова О.Ф., Косьянова Н.И., Парахневич М.В., Дыгай Т.Г., Севергина В.П. Очистка промышленных сточных вод гальванопроизводства

методом ионного обмена // Гальванотехника и обработка поверхности. 1994. Т. 3, N 5–6. С. 68–74.

23. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. 295 с.

24. Рединова А.В., Грабельных В.А., Леванова Е.П., Гозбенко В.Е. Новая технология извлечения ртути(II) из водных растворов серосодержащими полимерными сорбентами // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. N 4. С. 85–88.

25. Лебедев К.Б., Казанцев В.М., Розманов В.М. Иониты в цветной металлургии / Под ред. К.Б. Лебедева. М.: Металлургия, 1975. 352 с.

26. Пат. N 2558896, Российская Федерация, МПК В01J20/30, В01J20/02, В01J20/22. Способ получения сорбента для очистки сточных вод от соединений тяжелых металлов / Е.А. Чернышева, В.А. Грабельных, Е.П. Леванова, О.Н. Игнатова, И.Б. Розенцвейг, Н.В. Руссавская, В.Г. Дронов, А.Ф. Гоготов, Н.А. Корчевин; заявитель(ли) и патентообладатель(ли) ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», ФГБУН «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН». N 2014123245/05; заявл.

06.06.2014, опубл. 10.08.2015, Бюл. N 22.

27. Чопабаева Н.Н., Ергожин Е.Е., Тасмагамбет А.Т., Никитина А.И. Влияние модифицирующих добавок на адсорбционные свойства лигнина // Химия твердого топлива. 2009. N 2. С. 43–47.

28. Лигнины (структура, свойства и реакции) / Под ред. К.В. Сарканена и К.Х. Людвига. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 632 с.

29. Марченко З. Фотометрическое определение элементов. М.: Мир, 1971. 376 с.

30. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985. 592 с.

31. Байрамов В.М. Основы электрохимии. / Под ред. В.В. Лунина. М.: ИЦ «Академия», 2005. 240 с.

32. Рединова А.В. Извлечение ионов тяжелых металлов из водных растворов серосодержащими полимерными сорбентами / А.В. Рединова, В.А. Грабельных, Е.П. Леванова, Н.А. Корчевин // Вестник ИрГТУ. 2013. N 1. С. 113–116.

33. Дербишер Е.В., Овдиенко Е.Н., Габитов Р.И., Дербишер В.Е., Черткова М.В. Дочистка воды с применением полимерных гидразидов карбоновых кислот // Водоочистка. 2011. N 6. С. 17–22.

REFERENCES

1. Yanin E.P. *Rtut' v okruzhayushchei srede promyshlennogo goroda* [Mercury in the environment of the industrial city]. Moscow: Publishing house IMGRE, 1992, 170 p.

2. Davydova S.L., Tagasov V.I. *Tyazhelye metally kak supertoksikanty XXI veka* [Heavy metals as supertoxicants of XXI century]. Moscow: Publishing house of PFUR, 2002, 140 p.

3. Sotnikova E.V., Dmitrienko V.P. *Tekhnosfernaya toksikologiya* [Technosphere toxicology]. St. Petersburg: LAN' Publ., 2013, 400 p.

4. *Criteria of sanitary-hygienic condition of the environment*. Vol. 1. Mercury. A joint publication of the VOZ and UN programme on the environment. Moscow: Medicine Publ., 1979, 149 p.

5. Rush E.A., Davydenko A.Yu. *Kompleksnaya geoekologicheskaya otsenka vozdeistviya impaktnogo istochnika rutnogo zagryazneniya na ob'ekty okruzhayushchei sredy* [Complex geoecological evaluation of the action impact source of mercury pollution to the environment]. Irkutsk: Publishing house IrGTU, 2004, 111 p.

6. Adriano D.C. *Metals in the Terrestrial Environment*. Springer. Verlag: Berlin etc., 1984. 533 p.

7. Trahtenberg I.M., Korshun M.N. *Rtut' i ee soedineniya v okruzhayushchei srede* [Mercury and its compounds in the environment]. Kiev: Vyshcha Shkola Publ., 1990, 286 p.

8. Gladysheva V.P., Levitskaya S.A., Filipova L.M. *Analiticheskaya khimiya rtuti* [Analytical chemistry of mercury]. Moscow: Nauka Publ., 1974, 228 p.

9. Akagi H. Analytical methods for evaluating human exposure to mercury due to gold mining. *Proc. Int. Workshop «Health and Environmental Effects of Mercury Due to Mining Operations»*. National Institute for Minamata Disease, Environmental Agency, Minamata City. Japan, 1998, pp. 131–141.

10. Makalinao I.R., Galang R.M., Maramba N.P.C. The management and clinical outcome of metallic mercury injection among Filipino adolescents. *Proc. Int. Workshop «Health and Environmental Effects of Mercury Due to Mining Operation»*. National Institute for Minamata Disease, Environmental Agency, Minamata City, Japan. 1998. pp. 50–60.

11. *Obshchaya toksikologiya* [General toxicology]. Under the Editorship of A.O. Loita. St. Petersburg: ELBI-SPb. Publ., 2006, 224 p.

12. Kalmychkov G.V., Koval' P.V., Ostroumov V.A., Gordus A.A., Andrulajts L.D., Ostroumov E.A. Mercury in fish in the Bratsk reservoir. In: *The problems of Earth civilization. Proc. Conf. «Theoretical and practical security problems of Siberia and the Far East»*, 1999, Irkutsk: IrGTU Publ., Issue 1, part 1, pp. 105–109.

13. Bayens W., Edinghaus R., Vasiliev O. (Eds.) *Global and Regional Mercury Cycles, Fluxes and Balances*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995, pp. 303–315.

14. Gray J.E., Sanzolone R.F. (Eds.) *Environmental Studies of Mineral Deposits in Alaska. U.S. Geological Survey Bulletin*. 1996, no. 2156.

15. Lacedra L.D., Salomons W. *Mercury in the Amazon: A Chemical Time Bomb*. A report sponsored by the Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment. Chemical Time Bomb Project. Netherlands, 1991, 47 p.

16. Smirnov A.D. *Sorbtsionnaya ochistka vody [Sorptions purification of water]*. Leningrad: Khimiya Publ., 1982, 168 p.

17. Shumyatskii Yu.I. *Promyshlennye adsorbtsionnye protsessy [Industrial adsorption processes]*. Moscow: Koloss Publ., 2009, 183 p.

18. Kel'tsev N.V. *Osnovy adsorbtsionnoi tekhniki [Principles of adsorption technology]*. Moscow: Khimiya Publ., 1984 592 p.

19. Rodionov A.I., Klushin V.N., Torocheshnikov N.S. *Tekhnika zashchity okruzhayushchei sredy [The technique of environmental protection]*. Moscow: Khimiya Publ., 1989, 512 p.

20. Shi-syan' V.V., Gumarov R.H., Agzamhodzhaev A.A. *Carbon adsorbents for wastewater treatment. Ekologiya proizvodstva [Ecology of production]*. 2012, no. 2, pp. 66–68. (in Russian)

21. Holomeidik A.N., Zemnukhova L.A. *Removal of manganese ions from aqueous solutions with sorbents based on rice husk Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]*. 2011, no. 11, pp. 34–35. (in Russian)

22. Izmailova D.R., Kurolap N.S., Stoyanova O.F., Kos'yanova N.I., Parakhnevich M.V., Dygai T.G., Severgina V.P. *Treatment of industrial wastewater of galvanotechnique by ion exchange method. Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti [Electroplating and processing the surface]*. 1994, vol. 3, no. 5–6, pp. 68–74. (in Russian)

23. Ashirov A. *Ionoobmennaya ochistka stochnykh vod, rastvorov i gazov [Ion exchange purification of waste water, solutions and gases]*. Leningrad: Khimiya Publ., 1983, 295 p.

24. Redinova A.V., Grabel'nykh V.A., Levanova E.P., Gozbenko V.E. *New technology*

for the extraction of mercury(II) from aqueous solutions of sulfur-containing polymer sorbents. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]*. 2012, no. 4, pp. 85–88. (in Russian)

25. Lebedev K.B., Kazantsev V.M., Rozmanov V.M. *Ionity v tsvetnoi metallurgii [Ion exchangers in nonferrous metallurgy]*. Moscow: Metallurgiya Publ., 1975, 352 p.

26. Chernysheva E.A. [et al.]. *Sposob polucheniya sorbenta dlya ochistki stochnykh vod ot soedinenii tyazhelykh metallov [Method of obtaining sorbent for purification of wastewater from heavy metals]*. Patent RF, no. 2558896, 2015.

27. Chopabaeva N.N., Ergozhin E.E., Tasmagambet A.T., Nikitina A.I. *Influence of modifying additives on the adsorption properties of lignin Khimiya tverdogo topliva [Solid fuel chemistry]*. 2009, no. 2, pp. 43–47. (in Russian)

28. *Ligniny (struktura, svoystva i reaktsii) [Lignins (structure, properties and reactions)]*. Under the Editorship of K.V. Sarkanen and K.H. Lyudvig. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1975, 632 p.

29. Marchenko Z. *Fotometricheskoe opredelenie elementov [Photometric determination of elements]*. Moscow: Mir Publ., 1971, 376 p.

30. Panchenkov G.M., Lebedev V.P. *Khimicheskaya kinetika i kataliz [Chemical kinetics and catalysis]*. Moscow: Khimiya Publ., 1985, 592 p.

31. Bairamov V.M. *Osnovy elektrokhemii [Fundamentals of electrochemistry]*. Under the Editorship of V.V. Lunin. Moscow: Akademiya Publ., 2005, 240 p.

32. Redinova A.V., Grabel'nykh V.A., Levanova E.P., Korchevin E.P. *Extraction of heavy metal ions from aqueous solutions of sulfur-containing polymeric sorbents. Vestnik IrGTU [The Bulletin of Irkutsk State Technical University]*. 2013, no. 1, pp. 113–116. (in Russian)

33. Derbisher E.V., Ovdienko E.N., Gabitov R.I., Derbisher V.E., Chertkova M.V. *Water treatment with the use of polymeric hydrazides of carboxylic acids. Vodoochistka [Water Treatment]*. 2011, no. 6, pp. 17–22. (in Russian)

Критерии авторства

Чернышева Е.А., Грабельных В.А., Леванова Е.П., Корчевин Н.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Чернышева Е.А., Грабельных В.А., Леванова Е.П., Корчевин Н.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Contribution

Chernysheva E.A., Grabelnykh V.A., Levanova E.P., Korchevin N.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Chernysheva E.A., Grabelnykh V.A., Levanova E.P., Korchevin N.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Принадлежность к организации

Евгения А. Чернышева
Иркутский государственный университет
путей сообщения
Аспирант
chernysheva.evgeniya.a@mail.ru

Валентина А. Грабельных
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского
СО РАН
К.х.н., научный сотрудник
venk@irioch.irk.ru

Екатерина П. Леванова
Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского
СО РАН
К.х.н., старший научный сотрудник
venk@irioch.irk.ru

Николай А. Корчевин
Иркутский государственный университет путей
сообщения
Д.х.н, профессор
chem2007@mail.ru

Поступила 26.01.2017

Conflict of interests

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

AUTHORS' INDEX
Affiliations

Evgeniya A. Chernysheva
Irkutsk State Transport University
Postgraduate Student
chernysheva.evgeniya.a@mail.ru

Valentina A. Grabel'nykh
A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB
RAS
Ph.D. (Chemistry), Researcher

Ekaterina P. Levanova
A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB
RAS
Ph.D. (Chemistry), Senior Researcher

Nikolai A. Korchevin
Irkutsk State Transport University
Doctor of Chemistry, Professor
chem2007@mail.ru

Receives 26.01.2017