

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Адеева Л. Н., Диденко Т. А., Платонова Д. С.

SORPTION EXTRACTION OF HUMIC ACIDS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Adeeva L. N., Didenko T. A., Platonova D. S.

Аннотация

Введение: статья посвящена изучению возможности извлечения гуминовых кислот из водных растворов сорбционным методом. **Методы и материалы:** в качестве сорбентов использовали гелевый анионит Purolite A830 W — макропористый низкоосновный анионообменник с полиаминами в качестве функциональных групп и углеродминеральный сорбент, полученный карбонизацией сапропеля и модифицированный полигексаметиленгуанидином. Для модификации использовали препарат Биопэг-Б, представляющий собой 20 %-й раствор хлорида полигексаметиленгуанидина. Вследствие нанесения на поверхность полигексаметиленгуанидина, содержащего первичные аминогруппы, поверхность углеродминерального сорбента приобретает анионообменные свойства. Для изучения процессов сорбции были приготовлены растворы гуминовых кислот, выделенных из нативного сапропеля. **Результаты:** установлены оптимальные условия сорбции гуминовых кислот в статических условиях. Показано, что наиболее полное извлечение гуминовых кислот наблюдается при pH $7,0 \pm 0,1$. Определена величина статической обменной емкости, которая для смолы Purolite A 830 W составила $0,13 \pm 0,01$ мг/г, для модифицированного углеродминерального сорбента — $0,066 \pm 0,003$ мг/г. Степень извлечения гуминовых кислот для анионита и модифицированного сорбента составила 88 и 97 %, соответственно. Экспериментальные кинетические кривые обрабатывались по методу Бойда-Адамсона. Установлено, что лимитирующей стадией сорбции гуминовых кислот на обоих сорбентах является внутридиффузионная. Получены коэффициенты диффузии для смолы Purolite A830 W — $5,5 \cdot 10^{-12}$ м²/с, для модифицированного углеродминерального сорбента — $5,8 \cdot 10^{-12}$ м²/с. **Заключение:** таким образом, как анионит Purolite A830 W, так и углеродминеральный сорбент, модифицированный полигексаметиленгуанидином, могут быть использованы для извлечения гуминовых кислот из воды. Модифицированный углеродминеральный сорбент сопоставим по эффективности с анионитом Purolite A 830 W и может быть рекомендован для предварительного удаления гуминовых кислот из воды перед ионообменной очисткой. Извлечение гуминовых кислот с помощью модифицированного углеродминерального сорбента позволит избежать дезактивации дорогостоящих синтетических ионообменных смол гуминовыми кислотами, снижающими их обменную емкость и увеличивающими расход воды на регенерацию ионитов.

Ключевые слова: сорбция гуминовых кислот, анионит, модифицированный углеродминеральный сорбент, кинетические свойства.

Abstract

Introduction: the article is devoted to studying a possibility of extracting humic acids from aqueous solutions using sorption method. **Methods and materials:** Purolite A830W gel anion-exchange substance, a microporous low-basic anionic-ion exchanger with polyamines as functional groups and carbon-mineral sorbent produced by carbonization of organic slime and modified by means of polyhexamethyleneguanidine has been used as sorbent. Medicinal product Biopag-B corresponding to 20%-solution of polyhexamethyleneguanidine chloride has been used for modification. The surface of carbon-mineral sorbent acquires anionic-ion exchange properties as a result of application of polyhexamethyleneguanidine comprising amine groups to the surface. In order to study sorption processes, solutions of humic acids extracted from native organic slime have been prepared. **Results:** optimal conditions for sorption of humic acids under static conditions have been established. It has been demonstrated that the most complete extraction of humic acids is observed at pH = 7.0 ± 0.1 . The value of static exchange capacity has been determined being 0.13 ± 0.01 mg/g for resin Purolite A 830W and 0.066 ± 0.003 mg/g for modified carbon-mineral sorbent. A degree of extraction of humic acids for anion-exchange substance and modified sorbent amounted to 88 % and 97 %, accordingly. The experimental kinetic curves have been processed following Boyd-Adams method. It has been established that pore-diffusion stage of humic acids absorption in both sorbents is the limiting stage. Diffusion coefficients of $5.5 \cdot 10^{-12}$ m²/s for resin Purolite A830W and $5.8 \cdot 10^{-12}$ m²/s for modified carbon-mineral sorbent have been obtained. **Conclusion:** thus, both anion-exchange substance Purolite A830 W and carbon-mineral sorbent modified with polyhexamethyleneguanidine can be used for extraction of humic acids from water. The modified carbon-mineral sorbent is comparable with anion-exchange substance Purolite A 830 W with respect to efficiency and can be recommended for preliminary removal of humic acids from water before ion-exchange purification. The extraction of humic acids by means of modified carbon-mineral sorbent will help avoid decontamination of costly synthetic ion-exchange resins with humic acids reducing the exchange capacity thereof and increasing water consumption for regeneration of ion-exchange resins.

Keywords: sorption of humic acids, anion exchanger, the modified carbon-mineral sorbent, kinetic properties.

Введение

Гумусовые кислоты и их соли, присутствующие в природной воде, не только ухудшают ее органолептические показатели, но и оказывают корродирующее влияние при использовании обессоленной воды. Эти вещества обычно не полностью удаляются при водоподготовке и в паровых котлах подвергаются термогидролизу с образованием органических низкомолекулярных кислот, которые приводят к коррозии оборудования [1]. Установлено также, что гумусовые кислоты оказывают отрицательное воздействие на аниониты, используемые при водоподготовке. Они скапливаются в порах ионитов, вследствие чего снижается обменная емкость и увеличивается расход воды на регенерацию ионитов [2, 3].

При очистке воды от гуминовых кислот достаточно эффективны сорбционные методы. Для этих целей используют активированные угли и ионообменные смолы. Чтобы устранить вредное влияние гумусовых кислот перед анионитовыми фильтрами в схемах обессоливания воды зачастую устанавливают фильтры с активированным углем, сорбирующим органические вещества [4, 5].

Проблема выделения гумусовых кислот в процессах водоподготовки до настоящего времени остается нерешенной и требует дальнейшего исследования в направлении как поиска новых эффективных ионообменных смол для извлечения гумусовых кислот, так и разработки новых эффективных и недорогих материалов для предварительной очистки природной воды перед ионитами. В общем количестве гумусовых кислот в природных водах основная масса приходится на водорастворимые фульвокислоты, в связи с чем в исследовательских работах, посвященных сорбции гумусовых кислот из воды, в основном изучается извлечение из воды фульвокислот. Содержание гуминовых кислот достигает десятков и сотен мкг в 1 л, они могут присутствовать в виде коллоидных частиц или в растворенном состоянии в виде гуматов щелочных металлов. В минеральных и органических кислотах гуминовые кислоты не растворимы. Поведение гуминовых кислот при сорбции изучено недостаточно. В настоящей работе исследовалась возможность извлечения из воды гуминовых кислот гелевым анионитом Purolite A830 W — макропо-

ристым низкоосновным анионообменником с полиаминами в качестве функциональных групп и углеродминеральным сорбентом, полученным карбонизацией сапропеля (озерного ила) и модифицированным полигексаметиленгуанидином (ПГМГ), в качестве альтернативы — дорогостоящим активированным углем. Известно, что ион гуанидиния используется в супрамолекулярной химии при создании сорбционных материалов, предназначенных для комплексообразования анионов [6]. Вследствие нанесения на поверхность сорбента ПГМГ, содержащего первичные аминогруппы, поверхность сорбента приобретает анионообменные свойства.

Методы и материалы

Гуминовые кислоты, выделенные из сапропеля и используемые в работе, по данным СНН-анализа имеют следующий элементный состав: С — 57,67 %масс.; Н — 6,27 %масс.; О — 30,18 %масс.; N — 4,96 %масс.; S — 0,92 %масс. Количество карбоксильных и гидроксильных групп составляет 2,8 и 2,2 мг-экв./г соответственно [7–10].

Закономерности сорбции гуминовых кислот, в зависимости от различных факторов, устанавливали в статических условиях на анионите Purolite A830 W и модифицированном углеродминеральном сорбенте (УМС). Гелевый анионит Purolite A830 W — слабоосновный анионит макропористого типа. Этот ионит применяется в технологиях очистки воды и характеризуется исключительно высокой рабочей емкостью и прочностью зерен. Некоторые характеристики анионита приведены в табл. 1 [11].

Таблица 1

Характеристика ионита A830 W фирмы Purolite

Характеристика	Величина
Матрица	Полиакриловая
Противоион	ОН ⁻
Средний размер, мм	0,60–0,70
Полная обменная емкость, г-экв./л	2,7
Влагоемкость, %	47–53

Углеродминеральный сорбент получен карбонизацией кремнеземистого сапропеля при 700 °С [12, 13]. Содержание углерода в УМС составляет $6,3 \pm 0,2$ %масс., минеральных веществ — 88 ± 2 %масс., сорбент имеет $S_{уд} = 59$ м²/г, суммарный объем пор $V_{\Sigma} = 0,207$ см³/г, $V_{\text{мезо}} : V_{\text{макро}} =$

= 1:1,5, $V_{\text{микро}} < 10^{-3}$ см³/г, механическую прочность 64 МПа [14–16]. УМС модифицировали по методике [17] полигексаметиленгуанидином. Для модификации использовали препарат Биопаг-Б (ТУ 9392-009-41547288-2000), представляющий собой 20 %-й раствор полигексаметиленгуанидин хлорида (ПГМГ). ПГМГ — катионный полиэлектролит, обладающий уникальным сочетанием физико-химических и биоцидных свойств, позволяющим этому полимеру применяться практически во всех сферах народного хозяйства, в основном, для целей дезинфекции.

Гуминовую кислоту получали из сапропеля по методике [18]. Концентрацию гуминовых кислот в растворе определяли бихроматным арбитражным методом определения химического потребления кислорода (ХПК).

Сорбционные характеристики определяли в статических условиях. К навеске воздушно-сухого ионита массой 0,100 ± 0,002 г или 0,200 ± 0,002 г, модифицированного полигексаметиленгуанидином УМС, приливали 20 мл раствора с известной концентрацией и значением pH. По истечении заданной продолжительности контакта твердую и жидкую фазы разделяли центрифугированием. Фильтрат анализировали на содержание гуминовых кислот.

Статическую обменную емкость рассчитывали по формуле

$$a = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}}) V \cdot 10^{-3}}{m}, \text{ мг/г}$$

где $C_{\text{исх}}$ — исходная концентрация гуминовых кислот, мг/л; $C_{\text{равн}}$ — равновесная концентрация гуминовых кислот, мг/л; V — объем раствора, содержащего гуминовые кислоты, мл; m — масса навески сорбента, г.

Результаты и обсуждение

Предварительно было установлено, что наибольшая величина сорбции гуминовых кислот на анионите Purolite A 830W и модифицированном УМС наблюдается при pH 7,0 ± 0,1. Показатель pH при этом варьировали от 6,0 ± 0,5 до 12,5 ± 0,5 единиц. Было установлено, что в процессе сорбции гуминовых кислот как на анионите, так и на УМС, модифицированном ПГМГ, происходит повышение кислотности раствора на 1–2 единицы, а при pH ≤ 6, кроме процесса сорбции, начинает протекать процесс осаждения

гуминовых кислот из раствора (гуминовые кислоты выпадают в осадок при pH ≤ 4).

Равновесие в процессе сорбции изучалось в интервале концентраций гуминовых кислот 0,03–2,0 мг/л. Определена величина статической обменной емкости, которая для смолы Purolite A 830W составила 0,13 ± 0,01 мг/г, для модифицированного углеродминерального сорбента — 0,066 ± 0,003 мг/г.

При практической реализации ионообменных процессов необходимо учитывать кинетические свойства сорбента для выбора оптимальных условий сорбции. На рис. 1 и 2 приведены кинетические кривые сорбции гуминовых кислот на смоле А 830W и модифицированном УМС.

Степень извлечения гуминовых кислот на смоле составила 88 %, время насыщения — 3,5 ч.

При сорбции гуминовых кислот на УМС модифицированном ПГМГ набор емкости наблюдается после 4 ч, степень извлечения составила 97 %.

Кинетические кривые обрабатывались по методу Бойда-Адамсона [19] согласно уравнению

$$F = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-Bnt^2),$$

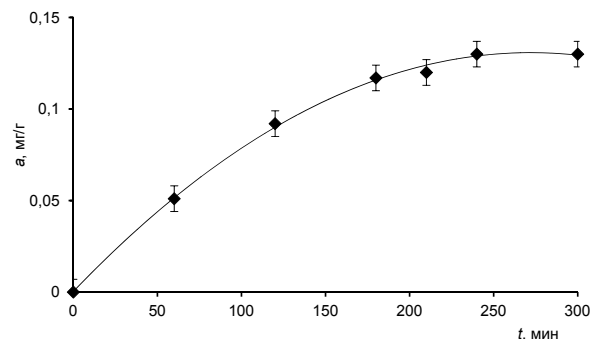


Рис. 1. Кинетическая кривая сорбции гуминовых кислот с концентрацией 0,74 мг/л на смоле Purolite A 830W

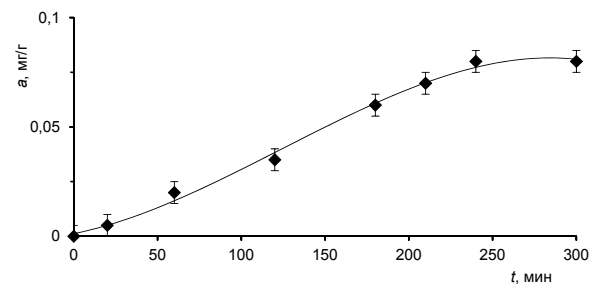


Рис. 2. Кинетическая кривая сорбции гуминовых кислот с концентрацией 0,68 мг/л на модифицированном УМС

где F — относительная степень сорбции; t — время, в течение которого достигается данная величина F ; Bt — безразмерный параметр, или критерий гомохронности Фурье; n — число слагаемых (1, 2, 3,...).

Величину F определяли экспериментально, степень обмена F рассчитывалась по формуле

$$F = \frac{m_t}{m_0},$$

где m_t — масса сорбированной кислоты ко времени t , мг; m_0 — масса сорбированной кислоты при насыщении, мг.

В зависимости от величины F по табличным значениям находили безразмерный коэффициент — критерий гомохронности Bt [20]. Зависимости Bt от продолжительности сорбции на смоле и модифицированном УМС представлены на рис. 3 и 4.

Линейный вид зависимости Bt от t указывает, что лимитирующей стадией сорбции является внутридиффузионная [20].

По графикам определяли константу скорости гелевой диффузии (B , c^{-1}), а затем рассчитывали коэффициент диффузии по формуле

$$B = D\pi^2 / r_0^2,$$

где r — средний радиус частиц, мм (0,65 мм); t — время, с.

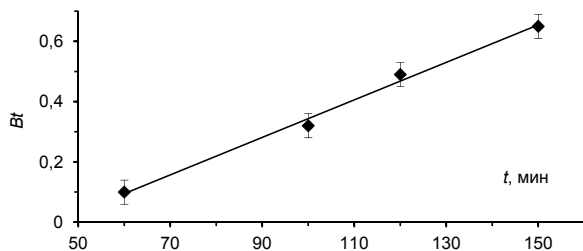


Рис. 3. Зависимость безразмерного коэффициента Bt от времени для смолы Purolite A 830W

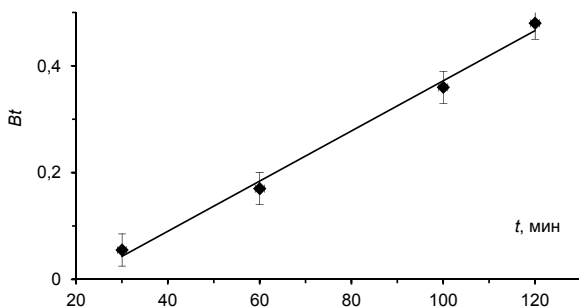


Рис. 4. Зависимость безразмерного коэффициента Bt от времени для модифицированного УМС

Коэффициент диффузии для смолы Purolite A 830 составил $5,5 \cdot 10^{-12}$ м²/с, для модифицированного УМС — $5,8 \cdot 10^{-12}$ м²/с.

Заключение

1. Показано, что анионит Purolite A 380 W является эффективным анионообменником для извлечения из гуминовых кислот воды. Статическая обменная емкость составляет $0,13 \pm 0,01$ мг/г. Степень извлечения гуминовых кислот — 88 %.

2. Показано, что углеродминеральный сорбент, полученный карбонизацией сапропеля и модифицированный полигексаметиленгуанидином, является эффективным сорбентом для извлечения гуминовых кислот из воды. Статическая обменная емкость составляет $0,066 \pm 0,003$ мг/г. Степень извлечения гуминовых кислот — 97 %.

Таким образом, как анионит Purolite A 830, так и УМС, модифицированный ПГМГ, могут быть использованы для извлечения гуминовых кислот из воды. Модифицированный УМС сопоставим по эффективности с анионитом Purolite A 830 и может быть рекомендован для предварительного удаления гуминовых кислот из воды перед ионообменной очисткой.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ договор № 16-45-550511/16 от 11 апреля 2016 г.

Литература

1. Гончарук, В. В., Страхов, Б. Э., Волошинова, А. М. (1996). Эксплуатационная надежность оборудования электростанций в зависимости от органических примесей в технологических водных средах. *Химия и технология воды*, т. 18, № 2, сс. 162–166.
2. Мартынова, О. И., Копылов, А. С., Мамет, В. А. (1975). Обратный осмос — новый эффективный метод обработки добавочных и сточных вод на электростанциях. *Теплоэнергетика*, № 7, сс. 87–89.
3. Славинская, Г. В. (2003). Очистка природных вод от гумусовых веществ сочетанием анионитов и активных углей. *Сорбционные и хроматографические процессы*, т. 3, вып. 3, сс. 286–292.
4. Глянец, Н. И., Котов, В. В., Стекольников, И. М. (2006). Сорбционные свойства некоторых анионитов и углей при очистке воды от органических веществ. *Сорбционные и хроматографические процессы*, т. 6, № 2, сс. 302–306.
5. Славинская, Г. В., Селеменев, В. Ф. (2007). Органические вещества как фактор, осложняющий кондиционирование воды промышленного и питьевого назначения. *Сорбционные и хроматографические процессы*, т. 7, вып. 2, сс. 297–302.
6. Лосев, В. Н., Дидух, С. Л., Буйко, Е. В. (2009). Применение кремнезема, модифицированного полигексамети-

ленгуанидином и 8-оксихинолин-5-сульфокислотой, для концентрирования и сорбционно-атомно-эмиссионного определения металлов в природных водах. *Аналитика и контроль*, т. 13, № 1, сс. 33–39.

7. Адеева, Л. Н., Платонова, Д. С., Масоров, М. С., Диденко, Т. А. (2013). Гуминовые кислоты из кремнеземистого сапропеля: ИК-спектроскопический и термический анализ. *Бутлеровские сообщения*, т. 34, № 6, сс. 65–69.

8. Платонова, Д. С., Адеева, Л. Н. (2015). Химический состав и кислотно-основные свойства гуминовых кислот, выделенных из сапропеля Омской области. *Известия Высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*, т. 58, № 8, сс. 35–38.

9. Платонова, Д. С., Диденко, Т. А., Адеева, Л. Н. (2014). Исследование состава гуминовых кислот из сапропеля. *Вестник Омского университета*, № 2, сс. 87–89.

10. Platonova, D., Didenko, T., Adeeva, L. (2013). Some characteristics of the humic acids emitted from sapropel of Omsk region. In: *Applied nanotechnology and nanotoxicology: second international school-conference*, Listvyanka, pp. 146–147.

11. Macroporous Weak Base Anion Exchange Resin Purolite A830 (2018). *Official product data information*. [online] Доступно по ссылке: <https://www.purolite.com/product/a830> [дата обращения: 12.09.2018].

12. Адеева, Л. Н., Коваленко, Т. А. (2011). Способ комплексной очистки сточных вод углеродминеральным сорбентом из сапропеля. Патент № 2414430.

13. Коваленко, Т. А., Адеева, Л. Н. (2010). Углеродминеральный сорбент из сапропеля для комплексной очистки сточных вод. *Химия в интересах устойчивого развития*, т. 18, № 2, сс. 189–195.

14. Адеева, Л. Н., Коваленко, Т. А. (2012). Очистка воды от органических веществ и ионов металлов углеродминеральным сорбентом из сапропеля. *Журнал прикладной химии*, т. 85, № 4, сс. 535–541.

15. Платонова, Д. С., Гурин, А. В., Адеева, Л. Н. (2016). Модифицированные сорбенты из сапропеля для очистки сточных вод. *Экология и промышленность России*, т. 20, № 11, сс. 20–25.

16. Адеева, Л. Н., Диденко, Т. А., Платонова, Д. С. (2016). Применение углеродминерального сорбента в реагентно-сорбционной схеме очистки подземной воды. *Вода: химия и экология*, № 11, сс. 66–71.

17. Гавриленко, М. А., Ветрова, О. В. (2010). Способ получения сорбента для очистки воды от органических веществ. Патент № 2404850.

18. Госстандарт России (1997). ГОСТ 9517–94. *Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот*. М.: ИПК Издательство стандартов, 8 с.

19. Кокотов, Ю. А., Пасечник, В. А. (1970). Равновесие и кинетика ионного обмена. Л.: *Химия*, 336 с.

20. Полянский, Н. Г., Горбунов, Г. В., Полянская, Н. Л. (1976). *Методы исследования ионов*. М.: Химия, 208 с.

References

1. Goncharuk, B. B., Strahov, B. E., Voloshinova, A. M. (1996). Eksploatatsionnaya nadezhnost' oborudovaniya ehlektrostantsij v zavisimosti ot organicheskikh primesej v tekhnologicheskikh vodnyh sredah [Operational reliability of equipment of power plants depending on organic admixtures in

process aqueous media]. *Himiya i tekhnologiya vody*, vol. 18, № 2, pp. 162–166. (in Russian).

2. Martynova, O. I., Kopylov, A. C., Mamet, B. A. (1975). Obratnyj osmos — novyj ehffektivnyj metod obrabotki dobavochnyh i stochnyh vod na ehlektrostantsiyah [Reverse osmosis is a new efficient method of treatment of make-up water and waste water at power plants]. *Teploehnergetika*, № 7, pp. 87–89. (in Russian).

3. Slavinskaya, G. V. (2003). Ochistka prirodnyh vod ot gumusovyh veshchestv sochetaniem anionitov i aktivnyh uglej [Cleaning natural water of humic substance using a combination of anion-exchange substances and activated carbons]. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*, vol. 3, issue 3, pp. 286–292. (in Russian).

4. Glyancev, N. I., Kotov, V. V., Stekolnikova, I. M. (2006). Sorbcionnye svojstva nekotoryh anionitov i uglej pri ochistke vody ot organicheskikh veshchestv [Sorption properties of some anion-exchange substances and carbons in the course of cleaning water of organic substances]. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*, vol. 6, № 2, pp. 302–306. (in Russian).

5. Slavinskaya, G. V., Selemenev, V. F. (2007). Organicheskie veshchestva kak faktor, oslozhnyayushchij kondicionirovanie vody promyshlennogo i pit'evogo naznacheniya [Organic substances as a factor complicating conditioning of service water and drinking water]. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*, vol. 7, issue 2, pp. 297–302. (in Russian).

6. Losev, V. N., Diduh, S. L., Bujko, E. V. (2009). Primenenie kremnezema, modifitsirovannogo poligeksametilenuguanidinom i 8-oksiholin-5-sul'fokislotoj, dlya koncentrirovaniya i sorbционно-atomno-ehmissionnogo opredeleniya metallov v prirodnyh vodah [Application of silicon oxide modified with polyhexamethyleneguanidine and 8-hydroxyquinoline -5-sulphoacid for concentration and absorption-atomic-emission identification of metals in natural water]. *Analitika i kontrol'*, vol. 13, № 1, pp. 33–39. (in Russian).

7. Adeeva, L. N., Platonova, D. S., Masorov, M. S., Didenko, T. A. (2013). Guminovye kisloty iz kremnezemistogo sapropelya: IK-spektroskopicheskij i termicheskij analiz [Humic acids from silicon-oxide organic slime: IR-spectroscopic and thermal analysis]. *Butlerovskie soobshcheniya*, vol. 34, № 6, pp. 65–69. (in Russian).

8. Platonova, D. S., Adeeva, L. N. (2015). Himicheskij sostav i kislotno-osnovnye svojstva guminovyh kislot, vydelennyh iz sapropelya Omskoj oblasti [Chemical composition and acid-base properties of humic acids emitted from organic slime of Omsk region]. *Izvestiya Vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, vol. 58, № 8, pp. 35–38. (in Russian).

9. Platonova, D. S., Didenko, T. A., Adeeva, L. N. (2014). Issledovanie sostava guminovyh kislot iz sapropelya [Investigating composition of humic acids from organic slime]. *Vestnik Omskogo universiteta*, № 2, pp. 87–89. (in Russian).

10. Platonova, D., Didenko, T., Adeeva, L. (2013). Some characteristics of the humic acids emitted from sapropel of Omsk region. In: *Applied nanotechnology and nanotoxicology: second international school-conference*, Listvyanka, pp. 146–147.

11. Macroporous Weak Base Anion Exchange Resin Purolite A830 (2011). *Official product data information*. [online] Available at: <https://www.purolite.com/product/a830> [accessed on 12.09.2018].

12. Adeeva, L. N., Kovalenko, T. A. (2011). *Sposob kompleksnoj ochildki stochnyh vod uglerodmineral'nyim sorbentom iz sapropelya* [Method of integrated waste water treatment using carbon-mineral absorbent from organic slime]. Patent № 2414430. (in Russian).

13. Kovalenko, T. A., Adeeva, L. N. (2010). Uglерodmineral'nyj sorbent iz sapropelya dlya kompleksnoj ochildki stochnyh vod [Carbon-mineral absorbent from organic slime for integrated waste water treatment]. *Himiya v interesah ustojchivogo razvitiya*, vol. 18, № 2, pp. 189–195. (in Russian).

14. Adeeva, L. N., Kovalenko, T. A. (2012). Ochildka vody ot organicheskikh veshchestv i ionov metallov uglerodmineral'nyim sorbentom iz sapropelya [Water cleaning from organic substances and ions of metals using carbon-mineral absorbent from organic slime]. *Zhurnal prikladnoj himii*, vol. 85, № 4, pp. 535–541.

15. Platonova, D. S., Gurin, A. V., Adeeva, L. N. (2016). Modificirovannye sorbenty iz sapropelya dlya ochildki stochnyh vod [Modified absorbents from organic slime for waste water treatment]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, vol. 20, № 11, pp. 20–25. (in Russian).

16. Adeeva, L. N., Didenko, T. A., Platonova, D. S. (2016). Primenenie uglerodmineral'nogo sorbenta v reagentno-sorbcionnoj skheme ochildki podzemnoj vody [Application of carbon-mineral absorbent in reagent-absorption flow diagram of subterranean water treatment]. *Voda: himiya i ehkologiya*, № 11, pp. 66–71. (in Russian).

17. Gavrilenko, M. A., Vetrova, O. V. (2010). *Sposob polucheniya sorbenta dlya ochildki vody ot organicheskikh veshchestv* [Method of producing absorbent for cleaning water of organic substances]. Patent № 2404850. (in Russian).

18. Gosstandart Rossii (1997). GOST 9517-94. *Toplivo tverdoe. Metody opredeleniya vyhoda guminovykh kislot* [Solid fuel. Methods of identifying yield of humic acids]. M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 8 p. (in Russian).

19. Kokotov, Yu. A., Pasechnik, V. A. (1970). *Ravnovesie i kinetika ionnogo obmena* [Equilibrium and kinetics of ion exchange]. L.: Himiya, 336 p. (in Russian).

20. Polyanskiy, N. G., Gorbunov, G. V., Polyanskaya, N. L. (1976). *Metody issledovaniya ionitov* [Methods of investigating ion-exchange materials]. M.: Himiya, 208 p. (in Russian).

Авторы

Адеева Людмила Никифоровна, д-р техн. наук
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
E-mail: l.n.adeeva@gmail.com

Диденко Татьяна Александровна, канд. хим. наук
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
E-mail: tatiana.a.didenko@gmail.com

Платонова Дарья Сергеевна
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
E-mail: darya-tyva@mail.ru

Authors

Adeeva Ludmila Nikiforovna, Dr. of Engineering
Dostoevsky Omsk State University
E-mail: l.n.adeeva@gmail.com

Didenko Tatiana Alexandrovna, PhD in Chemistry
Dostoevsky Omsk State University
E-mail: tatiana.a.didenko@gmail.com

Platonova Daria Sergeevna
Dostoevsky Omsk State University
E-mail: darya-tyva@mail.ru