

## АДСОРБЦИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ НА АКТИВИРОВАННОМ УГЛЕ, ОКСИДЕ ЖЕЛЕЗА И СИЛИКАГЕЛЕ

С. Э. Эрдни-Гаряев, И. Б. Дмитриева

ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России

Поступила в редакцию 25.06.2021 г.

**Аннотация.** Ухудшение водных ресурсов в значительной степени вызвано антропогенными факторами в результате непрерывного производства химических соединений для достижения качества жизни, необходимого современному обществу. В настоящее время в технологиях очистки сточных вод от различных органических загрязнителей, в том числе лекарственных препаратов и фармацевтических субстанций, активно развиваются адсорбционные методы в связи с тем, что использование таких методов позволяет уменьшить остаточные концентрации веществ в растворе вплоть до уровня чувствительности физических методов анализа.

В работе исследован процесс адсорбции из водных растворов диклофенака натрия, бензилпенициллина натрия и ципрофлоксацина гидрохлорида с использованием в качестве адсорбентов активированного угля, оксида железа (III) и силикагеля. Адсорбция была изучена при 20°C из водных растворов с рН=5.8-6.2, начальной концентрацией диклофенака натрия 0.8-8.0 ммоль/дм<sup>3</sup>, бензилпенициллина натрия 14.0-70.0 ммоль/дм<sup>3</sup> и ципрофлоксацина гидрохлорида 0.4-2.0 ммоль/дм<sup>3</sup>. Изучено влияние температуры при 8°C и 20°C на сорбцию натриевой соли бензилпенициллина на оксиде железа (III) и силикагеле, электролитов на сорбцию ципрофлоксацина гидрохлорида на оксиде железа (III) и силикагеле в изотонических растворах NaCl и CaCl<sub>2</sub>. Количество адсорбированных лекарственных средств определяли спектрофотометрическим методом.

Показано, что сорбционная способность единицы поверхности оксида железа (III) выше, чем у активированного угля, что происходит вследствие большого количества активных адсорбционных центров на поверхности оксида железа (III), однако нивелируется меньшей удельной поверхностью по сравнению с удельной поверхностью активированного угля, 2.8 и 100 м<sup>2</sup>/г, соответственно.

Адсорбция на границе твердое тело – жидкость сопровождается вытеснением ципрофлоксацина гидрохлорида из поверхностного слоя электролитами, при этом, с увеличением заряда катиона электролита сорбционная способность Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> снижается. Установлена низкая сорбционная способность оксида железа (III) к ципрофлоксацину.

Установлена высокая сорбционная способность оксида железа (III) и силикагеля к бензилпенициллину. При понижении температуры адсорбция на поверхности силикагеля повышается, но понижается на поверхности оксид железа (III).

**Ключевые слова:** адсорбция, диклофенак натрия, бензилпенициллина натрия, ципрофлоксацина гидрохлорида, силикагель, активированный уголь, оксид железа (III), спектрофотометрия

В связи с огромным ростом в разработке и производстве лекарственных средств для медицинского применения в XX веке, экологический риск остатков биологически активных веществ в окружающей среде стал проблемой, вызывающей все большую обеспокоенность. Первые сообщения об обнаружении таких остатков в сточных водах относятся к 90-м годам прошлого века [1], лекарственные средства (ЛС) постоянно вводятся в окружающую среду и распространены в неболь-

ших концентрациях [2, 3], что может потенциально повлиять на снабжение питьевой водой, экосистему и здоровье человека [4-6].

Лекарственные средства и их метаболиты, наиболее часто встречающиеся в сточных водах: антибиотики, антациды, стероиды, антидепрессанты, анальгетики, противовоспалительные средства, жаропонижающие средства, бета-блокаторы, гиполипидемические препараты, транквилизаторы и стимуляторы. Установлено негативное влияние на окружающую среду таких активных

фармацевтических субстанций, как диклофенак натрия [7], бензилпенициллина натрия [8] и ципрофлоксацина гидрохлорида [9].

В данной работе излагаются результаты исследования влияния природы сорбента и условий на сорбцию диклофенака натрия, бензилпенициллина натрия и ципрофлоксацина гидрохлорида.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

*Объектами исследования* служили:

Натриевая соль диклофенака: натриевая соль 32-(2-(2,6-дихлорфениламино-)фенил-) уксусной кислоты,  $C_{14}H_{11}Cl_2NO_2$ , молекулярная масса 319.15, в виде лекарственной формы – раствор для внутримышечного введения «Диклофенак натрия» 75 мг/3 мл №10 производства ООО ФК «Славянская аптека»;

Бензилпенициллина натриевая соль: натриевая соль 3,3-диметил-7-оксо-6-фенилацетамидо-4-тиа-1-аза-бицикло-[3,2,0]-гептан-2-карбоновой кислоты,  $C_{16}H_{17}N_2NaO_4S$ , молекулярная масса 356.38, в виде лекарственной формы – порошок для приготовления раствора для инъекций «Бензилпенициллина натриевая соль» 1 г производства ОАО «Синтез»;

Ципрофлоксацина гидрохлорид: гидрохлорид 1-циклопропил-6-фтор-1,4-дигидро-4-оксо-7-(1-пиперазинил)-3-хинолинкарбоновой кислоты,  $C_{17}H_{19}ClFN_3O_3$ , молекулярная масса 331.35 в виде лекарственной формы – раствор для инфузий «Ципрофлоксацин» 2 мг/мл 100 мл производства ОАО «Синтез».

*Аппаратура.* pH растворов измеряли с помощью pH-метра Mettler Toledo FP20-standard со стеклянным комбинированным электродом. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре СФ 2000 в кварцевых кюветках с толщиной поглощающего слоя  $l = 1$  см. Для перемешивания растворов использовали магнитную мешалку с подогревом ПЭ-6110.

*Растворы и реагенты.*

В качестве сорбентов использовали активированный уголь марки БАУ с удельной поверхностью  $100 \text{ м}^2/\text{г}$  (определенной методом БЭТ), оксид железа (III) и силикагель.

Оксид железа (III) с удельной поверхностью (определенной методом БЭТ) –  $2.8 \text{ м}^2/\text{г}$ . Методика подготовки сорбента описана в работах [10-17].

Использовали силикагель технический марки КСКГ с зернением 100-250 мкм и удельной поверхностью (определенной методом БЭТ) –  $293 \text{ м}^2/\text{г}$ , химически чистый.

Все применяемые реактивы были марки ч.д.а. Все растворы готовились на дистиллированной воде с удельной электропроводностью  $1-2 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ . Растворы NaOH и KOH готовились на воде, освобожденной от углекислого газа кипячением в течение 30 мин, и хранились без доступа  $\text{CO}_2$  под натронной известью. Растворы NaCl, HCl и KCl концентрацией 0.1 моль/л готовились из фиксаналов, растворы более низких концентраций – методом последовательного разбавления.

Концентрации приготовленных растворов проверялись по электропроводности и аналитически.

Количество адсорбированных препаратов диклофенака, ципрофлоксацина и бензилпенициллина определяли по изменению концентрации растворов до адсорбции и после адсорбции спектрофотометрическим методом, аналитические длины волн для водных растворов лекарственных препаратов найдены ранее в работах [7-9].

Адсорбцию лекарственных средств изучали из их водных растворов и в изотонических растворах NaCl и  $\text{CaCl}_2$ , а также при температуре воздуха  $8^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ . Сначала готовились исходные растворы лекарственных средств, затем из исходных растворов готовили серии из 5 рабочих растворов с интересующими концентрациями, далее в каждую колбу добавлялось по 0.2 г сорбента, серия растворов выдерживались более часа. Растворы периодически перемешивались, затем растворы отфильтровывались. Для более полного отделения частиц  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  использовался сильный магнит, далее определялась концентрация вещества спектрофотометрическим методом.

Предварительно были построены калибровочные кривые для вышеуказанных лекарственных препаратов на спектрофотометре.

Удельную адсорбцию рассчитывали по формуле:

$$\frac{X}{m} = \frac{(c_0 - c_e)V}{m} \quad (1),$$

где  $X/m$  – удельная адсорбция,  $V$  – объем раствора (мл),  $C_0$  – начальная концентрация лекарственных препаратов (ммоль/л),  $C_e$  – концентрация лекарственных препаратов после процесса сорбции (ммоль/л),  $m$  – масса сорбента (г).

Количество адсорбированного вещества, отнесенного к единице поверхности  $\Gamma$  рассчитывали по формуле:

$$\Gamma = \frac{(c_0 - c_e)V}{m \cdot S} \quad (2),$$

где:  $V$  – объем раствора, мл,  $C_0$  – началь-

ная концентрация лекарственных препаратов, ммоль/л,  $C_e$  – равновесная концентрация лекарственных препаратов после процесса сорбции, ммоль/л,  $m$  – масса сорбента, г;  $S$  – удельная поверхность сорбента, м<sup>2</sup>/г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Рассмотрим результаты адсорбции диклофенака натрия рассчитанные на единицу массы адсорбентов (рис. 1) и на единицу их поверхности (рис. 2). Из рис. 1 следует, что для очистки воды одного и того же количества диклофенака с помощью активированного угля из-за его высокой удельной поверхности требуется раз в десять меньше, чем оксида железа (III), что очевидно показывает экономическую нецелесообразность использования последнего в качестве сорбента на фармацевтическом производстве. При этом, согласно рис. 2, сорбционная способность  $Fe_2O_3$  выше, чем у активированного угля, так как оксид железа является гидрофильным сорбентом, а активированный уголь – гидрофобным и естественно оксид железа лучше сорбирует электролиты, к которым относится диклофенак натрия. Учитывая, что соли железа используются на практике в качестве коагулянтов при очистке промышленных и бытовых сточных вод, мы предложили использовать в качестве сорбента свежесажженный гидроксид железа (III) [7]. Свежесажженный гидроксид железа обладает высокой удельной поверхностью и в этом случае сорбция диклофенака более эффективна, чем на активированном угле.

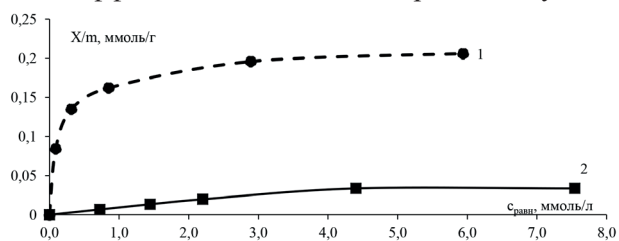


Рис. 1. Зависимость удельной адсорбции диклофенака натрия от концентрации: 1 – на активированном угле; 2 –  $Fe_2O_3$

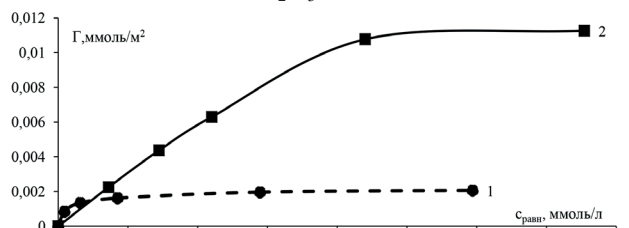


Рис. 2. Зависимость адсорбции диклофенака натрия от концентрации: 1 – на активированном угле; 2 –  $Fe_2O_3$

Полученные экспериментальные данные по адсорбции диклофенака натрия на активированном угле согласуются с исследованиями других авторов. В работах [18, 19] показано, что адсорбция диклофенака натрия на активированном угле происходит с достаточно высокой степенью очистки, а сам процесс протекает с поглощением теплоты и низкой энергией активации, т.е. эндотермически.

При использовании сорбентов для очистки природных и сточных вод от загрязнения лекарственными препаратами необходимо учитывать влияние солей на процесс адсорбции. Из рис. 3, 4 видно, что удельная адсорбция ципрофлоксацина на силикагеле и оксиде железа (III) при добавлении электролитов снижается. Снижение количества адсорбированных веществ не превышает 10-15 %. Как правило в природных водах, исключая морскую воду и воду из минеральных источников, содержат солей значительно меньше, чем в нашем эксперименте и их влияние на процесс сорбции можно пренебречь.

Адсорбция на границе твердое тело – жидкость сопровождается вытеснением ципрофлоксацина из поверхностного слоя электролитами, при этом, с увеличением заряда катиона электролита сорбционная способность  $Fe_2O_3$  снижается.

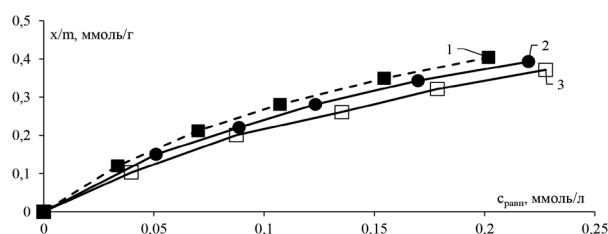


Рис. 3. Изотерма удельной адсорбции ципрофлоксацина на силикагеле из водных растворов – 1, из изотонических растворов NaCl – 2,  $CaCl_2$  – 3.

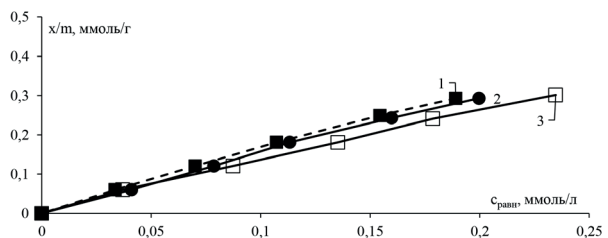


Рис. 4. Изотерма удельной адсорбции ципрофлоксацина на  $Fe_2O_3$  из водных растворов – 1, из изотонических растворов NaCl – 2,  $CaCl_2$  – 3.

Анализ сорбционных данных при различных температурах рис. 5,6 показывает, что с ростом температуры сорбция на силикагеле уменьшается, что согласуется с теоретическими представлениями об адсорбции [20]. При этом, сорбционная способ-

ность  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  увеличивается с ростом температуры. Увеличение адсорбции с ростом температуры может происходить вследствие процессов дезагрегации частиц оксида железа [21]. Проведено исследование процесса агрегации  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  при температурах  $8^\circ\text{C}$  и  $20^\circ\text{C}$ , по итогам которого подтверждено, что при температуре  $8^\circ\text{C}$  степень агрегации оксида железа (III) выше, чем при  $20^\circ\text{C}$ . Вследствие увеличения теплового движения растет десорбция, но при этом может увеличиваться диссоциация поверхностных центров, способствующая возрастанию адсорбции и дезагрегации частиц сорбента на первом этапе повышения температуры, однако при более высоких температурах, процесс десорбции преобладает, приводящий к уменьшению заряда поверхности частиц и их агрегации. Но в исследованном диапазоне температур этого не наблюдается. Для силикагеля процессы дезагрегации и агрегации нехарактерны, так как используемый силикагель является высокопористой системой с жестким скелетом.

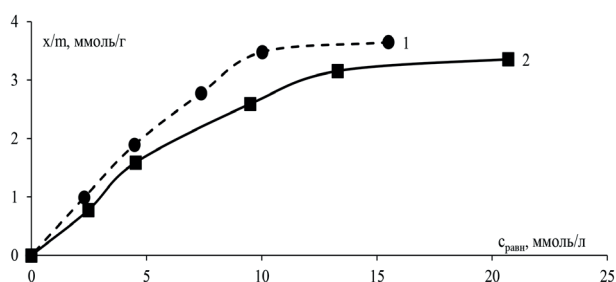


Рис. 5. Изотерма удельной адсорбции бензилпенициллина на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  при: 1 –  $20^\circ\text{C}$ , 2 –  $8^\circ\text{C}$

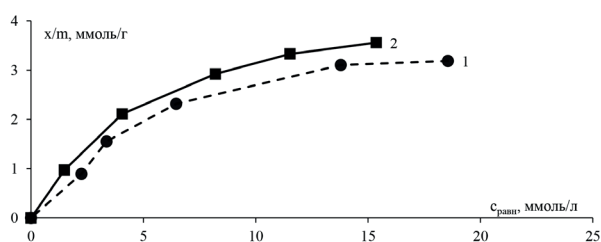


Рис. 6. Изотерма удельной адсорбции бензилпенициллина на силикагеле при: 1 –  $20^\circ\text{C}$ , 2 –  $8^\circ\text{C}$

## ВЫВОДЫ

Изучение сорбционных характеристик силикагеля, активированного угля и оксида железа (III) в водных растворах лекарственных средств показало, что сорбционная способность единицы поверхности оксида железа (III) выше, чем у активированного угля, что нивелируется большой удельной поверхностью активированного угля (удельная поверхность активированного угля –  $100 \text{ м}^2/\text{г}$ , а оксида железа –  $2,8 \text{ м}^2/\text{г}$ ).

Установлена низкая сорбционная способность оксида железа (III) к ципрофлоксацину, а также

влияние электролитов на очистку сточных вод сорбционным методом от ципрофлоксацина на поверхности оксида железа (III).

Установлена высокая сорбционная способность оксида железа (III) и силикагеля к бензилпенициллину, которая при понижении температуры повышается (силикагель) и понижается (оксид железа (III)).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гетьман М. А., Наркевич И. А. // Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике. 2013. №. 2. С. 50-54
2. Kolpin D. W., Furlong E. T., Meyer M. T., Thurman E. M., Zaugg, S. D., Barber L. B., Buxton H. T. // Environmental science & technology. 2002. Т. 36. №. 6, pp. 1202-1211.
3. Puckowski A., Mioduszevska K., Łukaszewicz P., Borecka M., Caban, M., Maszkowska J., Stepnowski // Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2016. Т. 127, pp. 232-255.
4. Wang C., Shi H., Adams C. D., Gamagedara S., Stayton I., Timmons T., Ma Y. // Water research. 2011. Т. 45. №. 4, pp. 1818-1828.
5. Sirés I., Brillas E // Environment international. 2012. Т. 40, pp. 212-229.
6. Yuan F., Hu F., Hu X., Qu J., Yang M. // Water Research. 2009. Т. 43. №. 6, pp. 1766-1774.
7. Дмитриева И. Б., Эрдни-Гаряев С. Э., Чухно А. С., Павлова Е. Ю., Коряковская М. О., Пюрбева А. А. // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 53. №. 3. С. 136-141.
8. Подвилова Е. А., Савви К. И., Эрдни-Гаряев С. Э. // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и техносферной безопасности. 2020. С. 208-211.
9. Одинцова Т. С., Мудрак Т. А., Эрдни-Гаряев С. Э. // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и техносферной безопасности. 2020. С. 193-196.
10. Dmitriyeva I.B., Tikhomolova K.P., Chukhno A.S., Prokopovich P.P., Starov V.M. // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects Vol. 2007. 241. Issues 1-3, pp. 45-59.
11. Dmitriyeva I.B., Chukhno A.S., Rodionova E.Y., Novichkov R.V. // Eurasian Chemical-Technological Journal. 2012. Т. 14. № 4. P. 299
12. Чухно А. С., Дмитриева И. Б., Тихомолова К. П., Воронкова Н. В. // ЖПХ. 2010. Т. 83. Вып. 7. С. 1119-1123.



13. Дмитриева И. Б., Чухно А. С., Родионова Е. Ю. // Бутлеровские сообщения. 2015. Т. 41. №. 1. С. 83-89.
14. Дмитриева И. Б., Тихомолова К. П., Чухно А. С. // Журнал прикладной химии. 2005. Т. 78. №. 5. С. 741-746.
15. Дмитриева И. Б., Тихомолова К. П., Чухно А. С. // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79. Вып. 1. С. 51-56.
16. Дмитриева И. Б., Чухно А. С., Новичков Р. В. // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 35. №. 8. С. 133-137.
17. Чухно А. С., Дмитриева И. Б., Аксинович В. А., Силаева Д. С., Сенина А. С., Кергенцев, А. А. // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 38. №. 5. С. 78-83.
18. Веденяпина М. Д., Стопп П., Вайхгребе Д., Веденяпин А. А. // Химия твердого топлива. 2016. №. 1. С. 48-52.
19. Власов А. В., Вергун А. П. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2007. Т. 310. №. 1. С. 134-137
20. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. Москва, Мир, 1979. 568 с.
21. Дацко Т. Я., Зеленцов В. И., Дворникова Е. Е. Вл // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2011. Т. 47. №. 3. С. 241-247.

ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России  
Эрдни-Гаряев С. Э., ассистент кафедры физической и коллоидной химии  
E-mail: sergey.erdny-garyaev@pharminnotech.com

Saint-Petersburg State Chemical Pharmaceutical University  
Erdni-Garyaev S. E., Assistant Professor, Department of Physical and Colloidal Chemistry  
E-mail: sergey.erdny-garyaev@pharminnotech.com

Дмитриева И. Б., д.х.н., доцент, доцент кафедры физической и коллоидной химии  
E-mail: irina.dmitrieva@pharminnotech.com

Dmitrieva I. B., PhD., DSci, Associate Professor, Department of Physical and Colloidal Chemistry  
E-mail: irina.dmitrieva@pharminnotech.com

## ADSORPTION OF DRUGS ON IRON OXIDE, SILICAGEL AND ACTIVATED CARBON

S. E. Erdni-Garyaev, I. B. Dmitrieva

Saint-Petersburg State Chemical Pharmaceutical University

Abstract. The deterioration of water resources is largely caused by anthropogenic factors as a result of the continuous production of chemical compounds to achieve the quality of life required by modern society. Currently, adsorption methods are actively developing in wastewater treatment technologies from various organic pollutants, including medicines and pharmaceutical substances, due to the fact that the use of such methods allows reducing the residual concentrations of substances in the solution to the level of sensitivity of physical analysis methods.

The process of adsorption of sodium diclofenac, sodium benzylpenicillin and ciprofloxacin hydrochloride on activated carbon, iron oxide (III) and silica gel was investigated. Adsorption was studied at 20°C from aqueous solutions with a pH=5.8-6.2, an initial concentration of diclofenac sodium 0.8-8.0 mmol/dm<sup>3</sup>, benzylpenicillin sodium 14.0-70.0 mmol/dm<sup>3</sup> and ciprofloxacin hydrochloride 0.4-2.0 mmol/dm<sup>3</sup>. The effect of temperature at 8°C and 20°C on the sorption of benzylpenicillin sodium salt on iron (III) oxide and silica gel, electrolytes on the sorption of ciprofloxacin hydrochloride on iron (III) oxide and silica gel in isotonic solutions of NaCl and CaCl<sub>2</sub> was studied. The amount of adsorbed drugs was determined spectrophotometrically.

It is shown that the sorption capacity of a unit of the surface of iron (III) oxide is higher than that of activated carbon, which is due to the large number of active adsorption centers on the surface of iron (III) oxide, but is leveled by a smaller specific surface compared to the specific surface of activated carbon, 2.8 and 100 m<sup>2</sup>/g, respectively. Adsorption at the solid-liquid interface is accompanied by the displacement of ciprofloxacin hydrochloride from the surface layer by electrolytes, while the sorption capacity of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

decreases with an increase in the charge of the electrolyte cation. A low sorption capacity of iron (III) oxide to ciprofloxacin was established.

The high sorption capacity of iron (III) oxide and silica gel to benzylpenicillin was established. With decreasing temperature, adsorption on the silica gel surface increases, but decreases on the surface of iron (III) oxide.

**Keywords:** adsorption, diclofenac sodium, benzylpenicillin sodium, ciprofloxacin hydrochloride, silica gel, activated carbon, iron (III) oxide, spectrophotometry

## REFERENCES

1. Get'man M. A., Narkevich I. A. *Remedium. Zhurnal o rossijskom rynke lekarstv i medicinskoj tehnikе*, 2013, Vol. 2, pp. 50-54
2. Kolpin D. W., Furlong E. T., Meyer M. T., Thurman E. M., Zaugg S. D., Barber L. B., Buxton H. T. *Environmental science & technology*, 2002, Vol. 36, No. 6, pp. 1202-1211.
3. Puckowski A., Mioduszezewska K., Łukaszewicz P., Borecka M., Caban, M., Maszkowska J., Stepnowski J. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2016, Vol. 127, pp. 232-255.
4. Wang C., Shi H., Adams C. D., Gamagedara S., Stayton I., Timmons T., Ma Y. *Water research*, 2011, Vol. 45, No. 4, pp. 1818-1828
5. Sirés I., Brillas E. *Environment international*, 2012, Vol. 40, pp. 212-229.
6. Yuan F., Hu F., Hu X., Qu J., Yang M. *Water Research*, 2009, Vol. 43, No. 6, pp. 1766-1774.
7. Dmitrieva I. B., Jerdni-Garjaev S. Je., Chuhno A. S., Pavlova E. Ju., Korjakovskaja M. O., Pjurbeeva A. A. *Butlerovskie soobshhenija*, 2018, Vol. 53, No. 3, pp. 136-141.
8. Podivilova E. A., Savvi K. I., Jerdni-Garjaev S. Je. *Sovremennye tendencii razvitija himicheskoj tehnologii, promyshlennoj jekologii i tehnosfernoj bezopasnosti*, 2020, pp. 208-211.
9. Odincova T. S., Mudrak T. A., Jerdni-Garjaev S. Je. *Sovremennye tendencii razvitija himicheskoj tehnologii, promyshlennoj jekologii i tehnosfernoj bezopasnosti*, 2020, pp. 193-196.
10. Dmitriyeva I.B., Tikhomolova K.P., Chukhno A.S., Prokopovich P.P., Starov V.M. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2007, Vol. 241, Issues 1-3, pp. 45-59.
11. Dmitriyeva I.B., Chukhno A.S., Rodionova E.Y., Novichkov R.V. *Eurasian Chemico-Technological Journal*, 2012, Vol. 14, No. 4, P. 299
12. Chuhno A. S., Dmitrieva I. B., Tihomolova K. P., Voronkova N. V. *ZhPH*, 2010, Vol. No. 7, pp. 1119-1123.
13. Dmitrieva I. B., Chuhno A. S., Rodionova E. Ju. *Butlerovskie soobshhenija*, 2015, Vol. 41, No. 1, pp. 83-89.
14. Dmitrieva I. B., Tihomolova K. P., Chuhno A. S. *Zhurnal prikladnoj himii*, 2005, Vol. 78, No. 5, pp. 741-746.
15. Dmitrieva I.B., Tihomolova K.P., Chuhno A.S. *Zhurnal prikladnoj himii*, 2006, Vol. 79, No. 1, pp. 51-56.
16. Dmitrieva I. B., Chuhno A. S., Novichkov R. V. *Butlerovskie soobshhenija*, 2013, Vol. 35, No 8, pp. 133-137.
17. Chuhno A. S., Dmitrieva I. B., Aksinovich V. A., Silaeva D. S., Senina A. S., Kergencev, A. A. *Butlerovskie soobshhenija*, 2014, Vol. 38, No. 5, pp. 78-83.
18. Vedenjapina M. D., Stopp P., Vajhgrebe D., Vedenjapin A. A. *Himija tverdogo topliva*, 2016, No. 1, pp. 48-52.
19. Vlasov A. V., Vergun A. P. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2007, Vol. 310, No. 1, pp. 134-137
20. Adamson A. *Fizicheskaja himija poverhnostej*, Moscow, Mir, 1979. 568 p.
21. Dacko T. Ja., Zelencov V. I., Dvornikova E. E. *Fizikohimija poverhnosti i zashhita materialov*, 2011, Vol. 47, No. 3, pp. 241-247.