



УДК 544

## Сорбционные свойства антибактериального композита глауконита и наночастиц меди

Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К., Махова Т.М.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского, Саратов*

Поступила в редакцию 31.10.2016 г.

Изучена сорбция ионов  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  глауконитом Саратовской области (Белоозерское месторождение) и его композитом с наночастицами меди. Получены соответствующие изотермы сорбции и дана их интерпретация с применением уравнений Ленгмюра и Фрейндлиха. Рассчитаны основные характеристики сорбции исследуемых материалов: статические сорбционные емкости, степени извлечения, константы Ленгмюра и Фрейндлиха. Показано, что глауконит и композит глауконит – наночастицы меди обладают сопоставимыми значениями сорбционной емкости по отношению к ионам  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ , а способность сорбировать ионы  $\text{Cu}^{2+}$  композитом с наночастицами меди, снижается.

**Ключевые слова:** неорганические сорбенты, глауконит, сорбция, композит, наночастицы меди, ионы тяжелых металлов

## Sorption properties of the antibacterial composite glauconite and copper nanoparticles

Soldatenko E.M., Doronin S.Yu., Chernova R.K., Makhova T.M.

*Saratov State University, Saratov*

The sorption properties of glauconite from Beloozersk deposits (Saratov region) and its composite with copper nanoparticles for  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions have been investigated. The sorption experiments are studied in static conditions by varying concentrations from 0.36 to 3.6 mg/l for iron and manganese salts, and from 0.31 to 3.1 mg/l for copper salts. The concentration of these ions is determined spectrophotometrically. The main sorption characteristics of these materials such as static sorption capacity (0.26, 0.11, 0.08 mmol/g) and extraction ratio (99.7, 77.7, 96.7 %) for  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions are calculated, respectively. The equilibrium data has been analyzed using Langmuir and Freundlich isotherms, and empirical constants ( $K_f$  and  $n$ ), activation energy of the sorption process are calculated. The Langmuir isotherm is demonstrated to provide the best correlation ( $R^2 = 0.991 - 0.999$ ), indicating on the monomolecular mechanism of sorption. It is shown that glauconite and its composite with copper nanoparticles have comparable values of sorption capacity for  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Mn}^{2+}$  ions, at the same time we can see reducing of this parameter for  $\text{Cu}^{2+}$  applied to the sorption by composite with copper nanoparticles.

**Keywords:** inorganic sorbents, glauconite, sorption, composite, copper nanoparticles, ions of heavy metals.

### Введение

Глауконит – трехслойный силикат непостоянного и сложного состава общей формулы:  $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2 [\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH})_2 \times n\text{H}_2\text{O}$ , образует хрупкие агломераты, от 100 до 600 мкм (рис. 1а), состоящие из чешуек различной формы с толщиной от 10 до 50 нм и 5-20 нм (рис. 1б).

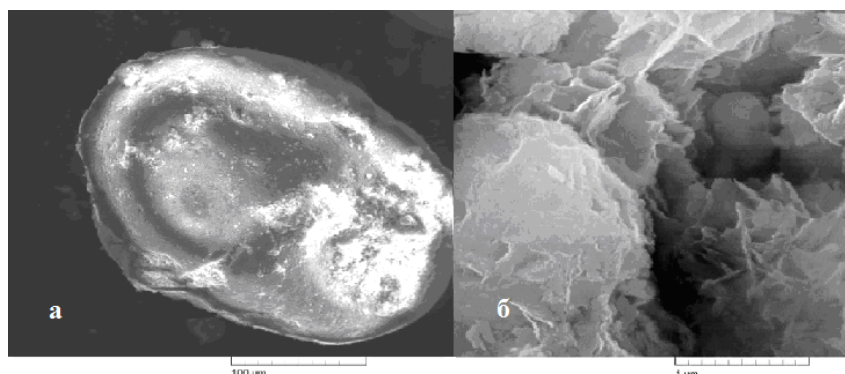


Рис. 1. Электронные микрофотографии глауконита

Сорбционные свойства глауконита, как природного сорбента, по отношению к ряду ионов металлов достаточно хорошо изучены (табл. 1) и нашли применение в процессах ремедиации почв [1, 2], технологических процессах очистки воды [3], при изучении ионообменных свойств почв [4] и др.

Таблица 1. Ионы металлов, сорбируемые глауконитом

№ п/п	Глауконит	Сорбат	Характеристики сорбции	Лит.
1	Глауконит Бондарского района Тамбовской области (40 и 95%)	$\text{Fe}^{2+}$	$Q(\text{Fe}^{2+})=10.4-26.9$ мг/г. $R(\text{Fe}^{2+})=35-67$ %	10
2	Глауконит (зеленая глина) Котайкского месторождения Армении	$\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$	$Q(\text{Fe}^{2+})=10-140$ мг/г; $Q(\text{Fe}^{3+})=10-190$ мг/г	11
3	Глауконит Бондарского района Тамбовской области (95%)	$\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$	$R(\text{Pb}^{2+})=60\%$ , $R(\text{Fe}^{2+})=70\%$ , $R(\text{Cu}^{2+})=80$ %	12
4	Глауконит, модифицированный нановолокнами $\text{AlOOH}$	$\text{Fe}^{3+}$	$R(\text{глауконит})=80$ %, $R(\text{глауконит-AlOOH})=91-95$ %	13
5	Глауконит «Nowodw6g I», Польша	$\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$	$Q(\text{Pb}^{2+})=9.12$ мг/г; $Q(\text{Cd}^{2+})=3.44$ мг/г; $Q(\text{Zn}^{2+})=3.07$ мг/г; $Q(\text{Cu}^{2+})=2.96$ мг/г	14
6	Глауконит Уалихановского района, Казахстан	$\text{Cu}^{2+}$	Степень очистки: глауконит: 92.75 - 99.84%; глауконит + $\text{NaOH}$ : 97.65-99.83%; глауконит + $\text{HCl}$ : 97.35 - 99.08 %	15
7	Глауконит Бондарского района Тамбовской области	$\text{Cu}^{2+}$	$Q(\text{Cu}^{2+})=30-35$ мг/г	16
8	Глауконит Бондарского района Тамбовской области	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$	$R(\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+})=38\%$ , $R(\text{Pb}^{2+})=96\%$ , $R(\text{Cu}^{2+})=94\%$	17
9	Глауконит Бондарского района Тамбовской области (95 %)	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{pH}=2.5$ : $Q(\Gamma)=3.7$ мг/г; $Q(\Gamma-200)=2.6$ мг/г. $\text{pH}=6,5$ : $Q(\Gamma)=7.6$ мг/г; $Q(\Gamma-200)=4.9$ мг/г.	18

В последнее время внимание исследователей привлекли природные сорбенты, применяемые в медицине [5] и животноводстве как энтеросорбенты и премиксы [6, 7]. Особый интерес вызывают композиты глауконита с наночастицами меди, которые наряду с ионообменными, обладают и бактерицидными свойствами. Так в работах [8, 9] исследована возможность получения и стабилизации наночастиц меди в матрице монтмориллонита и глауконита соответственно. Однако до настоящего времени отсутствуют в литературе сравнительные исследования сорбционных свойств глауконита и его композита с наночастицами меди по отношению к ряду ионов тяжелых металлов.

Получение композита глауконита с частицами наномеди проводили «*in situ*» посредством восстановления сорбированного на глауконите аммиаката меди раствором гидразина. Методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии установлено, что при этом образовывались наночастицы меди различного размера: как локализованные на поверхности глауконита (100 нм), так и в порах минерала (3-7 нм). Элементный состав исходного глауконита и композита Cu–глауконит приведен в табл. 2.

Таблица 2. Содержание макро-элементов (%) в глауконите и его композите с наночастицами меди

Образец	C	O	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	Cu
Глауконит	14.2	48.3	1.05	4.64	21.0	1.95	2.16	7.59	$(2.10) \cdot 10^{-3}$
Cu-глауконит	13.8	47.5	0.99	4.48	20.5	1.75	2.24	7.39	1.40

Как видно из табл. 2, в составе композита Cu–глауконит фиксируется наличие меди (1.40 %), в то время как в исходном глауконите медь входит в состав матрицы как микроэлемент в количестве  $(2.10) \cdot 10^{-3}$ %.

Целью настоящего исследования явилась оценка сорбционных свойств глауконита Саратовской области Белоозерского месторождения по отношению к ионам  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Mn^{2+}$  и его антибактериального композита с наночастицами меди.

## Эксперимент

Для исследования сорбционных свойств глауконита и его композита с наночастицами меди применяли фракцию глауконитового песка (200-500 мкм) с содержанием глауконита до 85 %. Для приготовления модельных растворов солей тяжелых металлов в воде применяли: железа (III) хлорид 6-водный (ч., ГОСТ4147-74); марганца (II) сульфат 5-водный (ч.д.а., ГОСТ 435-67); меди (II) хлорид дигидрат (ч.д.а. ГОСТ 4167-74).

Эксперименты по установлению параметров сорбции катионов металлов проводили в статическом режиме: навески сорбентов по 0.50 г помещали в конические колбы, вместимостью 100 мл, добавляли по 50 мл исследуемого раствора соли металла с концентрациями, варьирувавшимися соответственно для  $Fe^{3+}$  от 0.36 до 3.6 ммоль/л; для  $Mn^{2+}$  от 0.36 до 3.6 ммоль/л; для  $Cu^{2+}$  от 0.31 до 3.1 ммоль/л; перемешивали на шейкере до установления равновесия. Затем сорбенты отфильтровывали и фотометрически определяли концентрацию ионов исследованных металлов в фильтрате по стандартным методикам [19-21].

Расчет сорбционной емкости ( $Q$ , ммоль/г) проводили по уравнению:

$$Q = \frac{(c_0 - c) \cdot V}{m}, \quad (1)$$

где  $c_0$  и  $c$  – концентрации определяемого катиона металла соответственно до и после сорбции, ммоль/дм<sup>3</sup>,  $V$  – объем водного раствора, см<sup>3</sup>;  $m$  – масса сорбента, г.

## Обсуждение результатов

Изотермы сорбции исследуемых ионов глауконитом и его композитом приведены на рис. 2. Полученные изотермы сорбции характеризовали уравнениями Лэнгмюра (2) и Фрейндлиха (3):

$$Q = Q_{\infty} \cdot \frac{K_L \cdot c_{равн}}{K_L \cdot c_{равн} + 1}, \quad Q = K_{\phi} \cdot c_{равн}^{1/n}, \quad (2, 3)$$

где  $Q$  и  $Q_{\infty}$  – удельная и предельная удельная адсорбция соответственно (моль/г);  $c_{равн}$  – равновесная концентрация адсорбтива (моль/дм<sup>3</sup>);  $K_L$  – константа адсорбционного равновесия;  $K_{\phi}$ ,  $n$  – эмпирические константы уравнения.

Для выбора модели сорбции, наиболее полно описывающей изучаемый процесс, проводили линейризацию зависимостей (уравнения 4 и 5):

$$\frac{c_{равн}}{Q} = \frac{1}{Q_{\infty} \cdot c_{равн}} + \frac{1}{Q_{\infty}} \cdot \frac{1}{c_{равн}} \quad (4)$$

$$\lg Q = \lg K_{\phi} + \frac{1}{n} \cdot \lg c_{равн} \quad (5)$$

Наибольшие коэффициенты аппроксимации ( $R^2=0.991-0.999$ ) установлены для изотерм сорбции в координатах уравнения Лэнгмюра. Они применимы для описания линейных начального и конечного участков изотерм сорбции. Это свидетельствует о том, что сорбция локализована на отдельных адсорбционных центрах с образованием мономолекулярного слоя. Крутой восходящий фронт полученных изотерм может быть объяснен хемосорбционным характером взаимодействия ионов металлов с поверхностью сорбента. Линейный участок изотермы позволяет графически установить постоянные параметры изотермы Лэнгмюра ( $Q_{\infty}$  и  $K_L$ ). Экстраполяция изотермы (рис. 2) на ось ординат отсекает отрезок, равный  $\frac{1}{Q_{\infty} \cdot K_L}$ , а тангенс угла наклона

прямой равен  $\frac{1}{Q_{\infty}}$  [22].

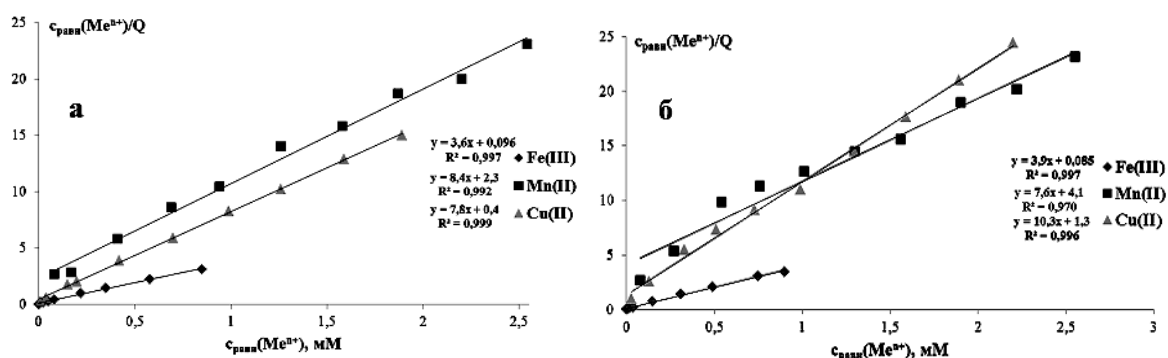


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  глауконитом (а) и композитом Си-глауконит (б) в линейных координатах уравнения Лэнгмюра

Лэнгмюровская адсорбция обусловлена силами близкими к химическим, локализована, происходит на активных центрах – особых участках поверхности адсорбента. Активные центры независимы и способны насыщаться: на одном активном центре может адсорбироваться одна молекула. Состоянию насыщения поверхности

адсорбента отвечает предельная удельная адсорбция  $\Gamma_{\infty}$ . Ленгмюровская адсорбция обратима и характеризуется константой адсорбционного равновесия  $K_L$ .

Константы в уравнении Фрейндлиха  $K_F$  и  $n$  также находили графически (рис. 3), применяя линеаризованную форму уравнения. Отрезок, отсекаемый на оси ординат равен  $\lg K_F$ , тангенс угла наклона - показатель степени  $1/n$ , в уравнении Фрейндлиха [22].

Расчитанные значения предельной сорбции ( $Q_{\infty}$ ), а также константы сорбционного равновесия ( $K_L$ ), эмпирические константы ( $K_F$  и  $n$ ) и изменение стандартной энергии сорбции ( $\Delta G^{\circ} = -R \cdot T \cdot \ln K_L$ ) приведены в табл. 3.

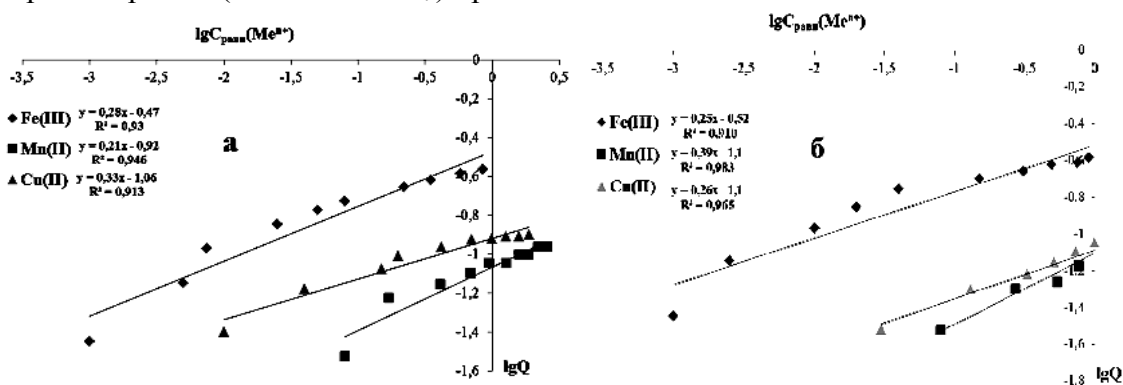


Рис. 3. Изотермы сорбции ионов  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  глауконитом (а) и композитом Су-глауконит (б) в линейных координатах уравнения Фрейндлиха

Таблица 3. Значения  $Q_{\infty}$ ,  $K_L$ ,  $K_F$  и  $1/n$  характеризующие сорбцию ионов металлов ( $T=293$  К)

Изотерма	Сорбционные характеристики								
	$Fe^{3+}$			$Mn^{2+}$			$Cu^{2+}$		
Глауконит									
Лэнгмюра	$Q_{\infty}$ , мМ/Г	$K_L$ , дМ <sup>3</sup> /мМ	$R^2$	$Q_{\infty}$ , мМ/Г	$K_L$ , дМ <sup>3</sup> /мМ	$R^2$	$Q_{\infty}$ , мМ/Г	$K_L$ , дМ <sup>3</sup> /мМ	$R^2$
	0.27	38	0.997	0.12	3.6	0.992	0.13	18	0.999
Фрейндлиха	$K_F$	$1/n$	$R^2$	$K_F$	$1/n$	$R^2$	$K_F$	$1/n$	$R^2$
	0.34	3.5	0.932	-	3.1	0.913	0.12	4.8	0.946
$-\Delta G^{\circ}$ , кДж/моль	26			20			24		
Композит Су-глауконит									
Лэнгмюра	$Q_{\infty}$ , мМ/Г	$K_L$ , дМ <sup>3</sup> /мМ	$R^2$	$Q_{\infty}$ , мМ/Г	$K_L$ , дМ <sup>3</sup> /мМ	$R^2$	$Q_{\infty}$ , мМ/Г	$K_L$ , дМ <sup>3</sup> /мМ	$R^2$
	0.26	46	0.997	0.13	1.9	0.970	0.10	7.7	0.996
Фрейндлиха	$K_F$	$1/n$	$R^2$	$K_F$	$1/n$	$R^2$	$K_F$	$1/n$	$R^2$
	0.30	4.0	0.910	-	2.6	0.983	-	3.8	0.965
$-\Delta G^{\circ}$ , кДж/моль	26			18			22		

Анализ полученных данных показал, что сорбция исследованных ионов металлов может быть охарактеризована моделями как Лэнгмюра, так и Фрейндлиха для соответствующих концентрационных областей изотерм сорбции, поскольку рассчитанные значения коэффициентов аппроксимации ( $R^2$ ) лежат в интервале значений от 0.910 до 0.999.

Построены изотермы сорбции ионов  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  при оптимальных значениях рН=6-7.5 и времени сорбции (120 минут) на глауконите и его композите с наночастицами меди в интервале концентраций металлов 0.31-3.6 ммоль/дМ<sup>3</sup> (рис. 4).

Как видно из рисунка 4 глауконит и композит Си-глауконит обладают сопоставимыми значениями сорбционной емкости по отношению к ионам  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ . Величины предельной сорбции составили соответственно:  $(0.26 \pm 0.01)$  и  $(0.11 \pm 0.01)$  ммоль/г. Сорбционная способность композита глауконита с наночастицами меди по отношению к ионам меди несколько понижена и составляет  $(0.08 \pm 0.01)$  ммоль/г по сравнению с исходным глауконитом  $(0.12 \pm 0.01)$  ммоль/г, что может быть объяснено частичным блокированием реакционных центров на поверхности композита наночастицами меди.

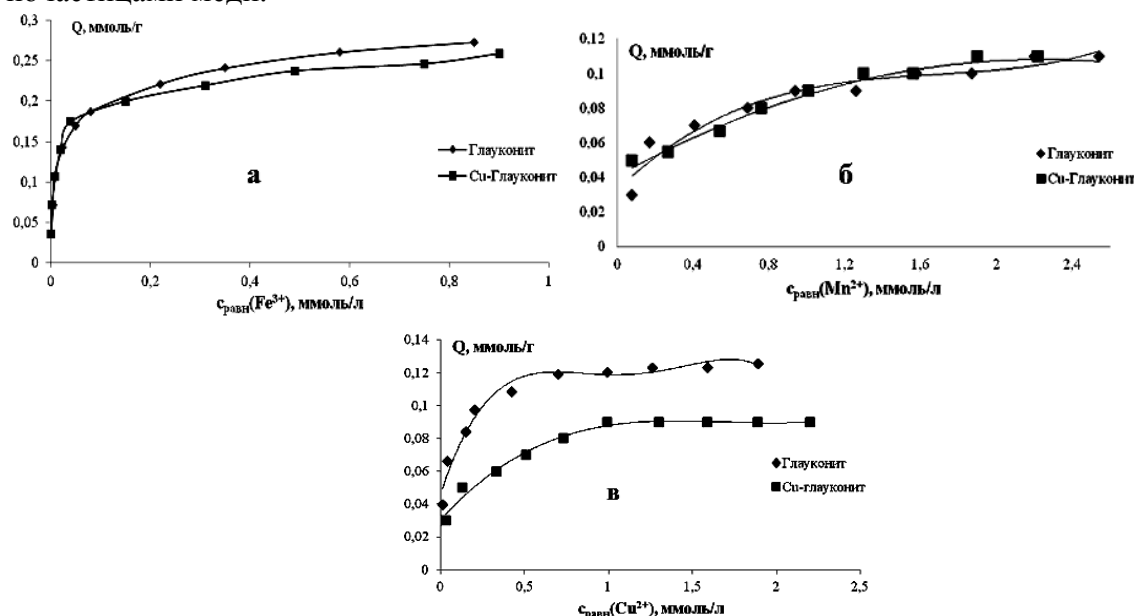


Рис. 4. Зависимость сорбционной емкости глауконита и композита Си-глауконит от равновесных концентраций (0.31-3.6 ммоль/дм<sup>3</sup>)  $\text{Fe}^{3+}$  (а),  $\text{Mn}^{2+}$  (б),  $\text{Cu}^{2+}$  (в)

## Заключение

Дана сравнительная характеристика сорбционных свойств глауконита и его композита с наночастицами меди по отношению к ионам  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ . Изотермы сорбции ионов  $\text{Fe}(\text{III})$ ,  $\text{Mn}(\text{II})$  и  $\text{Cu}(\text{II})$  на глауконите и его композите имеют вид изотерм Лэнгмюра первого типа, что подтверждает мономолекулярный характер сорбции в интервале концентраций сорбатов 0.31-3.6 ммоль/дм<sup>3</sup>. Показано, что наличие в глауконитовой матрице наночастиц меди (~1.5 масс. %), несколько понижают сорбционную способность композита по отношению к ионам меди и существенно не влияют на сорбцию ионов железа и марганца.

## Список литературы

1. Вениг С.Б., Сержантов В.Г., Чернова Р.К., Селифонова Е.И. и др. // «Физические процессы в биологических системах», сб. трудов Всерос. интернет-конференции с международным участием. Казань. 2014. С. 14-16.
2. Сержантов В.Г., Андронов С.А., Быков В.И. Патент РФ, № 2296016. 2007.
3. Синельцев А.А., Губина Т.И., Антонова И.А., Сержантов В.Г. // *Химическая физика экологических процессов*. 2012. Т. 31. № 10. С. 29-32.
4. Гришин П.Н. Кравченко В.В., Кравченко И.П. *Агрономические руды и нетрадиционное минеральное сырье*. Саратов. СГУ. 2010. 137 с.

5. Вениг С.Б., Сержантов В.Г., Селифонова Е.И., Сплюхин В.П. и др. // «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине», материалы Всерос. школы-семинара, Саратов. 2015. С. 217-220.
6. Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R. // *Animal Feed Science and Technology*. 2005. Vol. 118. No 3-4. pp. 307-317.
7. Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R. // *Poult Sci*. 2004. Vol. 83. No 11. pp. 1868-1875.
8. Bagchi B., Kar S., Dey S.K., Bhandary S. et al. // *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2013. Vol. 108. pp. 358-365.
9. Солдатенко Е.М., Доронин С.Ю., Чернова Р.К., Вениг С.Б. и др. // *Бутлеровские сообщения*. 2015. Т. 42. № 6. С. 1-6.
10. Вигдорович В.И., Богданова Е.П., Цыганкова Л.Е. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2011. № 1. С. 21-26.
11. Сиракян М.А., Вардересян Г.Ц., Котикян С.Ю. // *Вестник ГИУА. Серия "Химические и природоохранные технологии"*. 2013. Т. 16. № 1. С. 82-89.
12. Вигдорович В.И., Богданова Е.П. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2011. Т. 11. № 6. С. 913-921.
13. Жантуаров С. Р., Умирзаков А. Г., Мартемьянов Д. В. // *XIX Международная научно-практическая конференция «Современная техника и технологии»*, 2013. С. 427-428.
14. Franus M., Vandura L. // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2014. Vol. 23. No 3a. pp. 825-839.
15. Таубаева Э.С., Джусипбеков У.Ж., Жунусов С. М. // *Вестник Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева*. 2010. Т. 82. № 6.
16. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Протасов А.С. // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2013. Т. 18. № 1. С. 393-396.
17. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И. и др. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2010. Т. 10. № 1. С. 121-126.
18. Вигдорович В.И., Богданова Е.П., Цыганкова Л.Е. // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2012. Т. 12. № 2. С. 274-282.
19. ГОСТ 4011-72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. М: Издательство Стандартов. 2008. 7 с.
20. ГОСТ 4974-72 Вода питьевая. Методы определения содержания марганца. М: Издательство Стандартов. 1974. С. 545-550.
21. Чернова Р.К., Кулапина Е.Г., Козлова Л.М., Белолищева Г.М.. Практикум по аналитической химии: Учебное Пособие. Саратов. Изд-во Саратовского университета. 2003. 240 с.
22. Фролов Ю.Г. Поверхностные явления и дисперсные системы. М. Химия. 1982. 400 с.

## References

1. Venig S.B., Serzhantov V.G., Chernova R.K., Selifonova E.I. et al., «*Fizicheskie protsessy v biologicheskikh sistemakh*», sbornik trudov Vseros. internet-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Kazan, 2014, pp. 14-16.
2. Serzhantov V.G., Andronov S.A., Bykov V.I. Patent RF, № 2296016, 2007.
3. Sinel'tsev A.A., Gubina T.I., Antonova I.A., Serzhantov V.G., *Khimicheskaya fizika ekologicheskikh protsessov*, 2012, Vol. 31, No 10, pp. 29-32.
4. Grishin P.N. Kravchenko V.V., Kravchenko I.P., *Agronomicheskie rudy i netraditsionnoe mineral'noe syr'e*. Saratov, SGU, 2010, 137 p.
5. Venig C.B., Serzhantov V.G., Selifonova E.I., Splyukhin V.P. et al., «Metody komp'yuternoi diagnostiki v biologii i meditsine», materialy Vseros. shkoly-seminara, Saratov, 2015, pp. 217-220.
6. Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R., *Animal Feed Science and Technology*, 2005, Vol. 118, No 3-4, pp. 307-317.
7. Xia M.S., Hu C.H., Xu Z.R., *Poult Sci*, 2004, Vol. 83, No 11, pp. 1868-1875.
8. Bagchi B., Kar S., Dey S.K., Bhandary S. et al., *Colloids Surf B Biointerfaces*, 2013, Vol. 108, pp. 358-365.
9. Soldatenko E.M., Doronin S.Yu., Chernova R.K., Venig S.B. et al., *Butlerovskie soobshcheniya*, 2015, Vol. 42, No 6, pp. 1-6.
10. Vигdorovich V.I., Bogdanova E.P., Tsygankova L.E., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2011, No 1, pp. 21-26.

11. Sirakanyan M.A., Varderesyan G.Ts., Kotikyan S.Yu., *Vestnik GIUA. Seriya "Khimicheskie i prirodookhrannye tekhnologii"*, 2013, Vol. 16, No 1, pp. 82-89.
12. Vigdorovich V.I., Bogdanova E.P., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2011, Vol. 11, No 6, pp. 913-921.
13. Zhantuarov S. R., Umirzakov A. G., Martem'yanov D. V., *XIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennaya tekhnika i tekhnologii»*, 2013, pp. 427-428.
14. Franus M., Bandura L., *Fresenius Environmental Bulletin*, 2014, Vol. 23, No 3a, pp. 825-839.
15. Taubaeva E.S., Dzhusipbekov U.Zh., Zhunusov S.M., *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta im. K. I. Satpaeva*, 2010, Vol. 82, No 6.
16. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Nikolenko D.V., Protasov A.S., *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2013, Vol. 18, No 1, pp. 393-396.
17. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Nikolenko D.V., Akulov A.I. et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2010, Vol. 10, No 1, pp. 121-126.
18. Vigdorovich V.I., Bogdanova E.P., Tsygankova L.E., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2012, Vol. 12, No 2, pp. 274-282.
19. GOST 4011-72 Voda pit'evaya. Metody izmereniya massovoi kontsentratsii obshchego zheleza. M: Izdatel'stvo Standartov, 2008, 7 p.
20. GOST 4974-72 Voda pit'evaya. Metody opredeleniya sodержaniya margantsa. M: Izdatel'stvo Standartov, 1974, pp. 545-550.
21. Chernova R.K., Kulapina E.G., Kozlova L.M., Beloliptseva G.M. *Praktikum po analiticheskoi khimii: Uchebnoe Posobie*. Saratov, Izd-vo Saratovskogo universiteta, 2003, 240 p.
22. Frolov Yu.G. *Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy*, Moskva, Khimiya, 1982, 400 p.

**Солдатенко Елена Михайловна** – аспирант кафедры аналитической химии и химической экологии, к.х.н., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

**Махова Татьяна Михайловна** – аспирант кафедры аналитической химии и химической экологии, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

**Доронин Сергей Юрьевич** – профессор кафедры аналитической химии и химической экологии, д.х.н., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

**Чернова Римма Кузьминична** - профессор кафедры аналитической химии и химической экологии, д.х.н., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов

**Soldatenko Elena M.** - the postgraduate student, department of analytical chemistry and chemical ecology, Saratov State University, Saratov, *e-mail: [SoldatenkoEM@mail.ru](mailto:SoldatenkoEM@mail.ru)*

**Makhova Tatiana M.** – the postgraduate student, department of analytical chemistry and chemical ecology, Saratov State University, Saratov, *e-mail: [tatianaahrimova@mail.ru](mailto:tatianaahrimova@mail.ru)*

**Doronin Sergei Yu.** – prof., grand Ph.D (chemistry), department of analytical chemistry and chemical ecology, Saratov State University, Saratov

**Chernova Rimma K.** - – prof., grand Ph.D (chemistry), department of analytical chemistry and chemical ecology, Saratov State University, Saratov