

УДК 552.513.4.08 + 579

## АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СОРБЕНТА

С.Б. Вениг<sup>1</sup>, Р.К. Чернова<sup>1</sup>, В.Г. Сержантов<sup>1</sup>, А.А. Селифонов<sup>1</sup>,  
О.Г. Шаповал<sup>2</sup>, О.В. Нечаева<sup>2</sup>, В.П. Сплюхин<sup>1</sup>, Е.И. Селифонова<sup>1</sup>, Г.Н. Наумова<sup>1</sup>,  
Н.Н. Щербакова<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет; <sup>2</sup>Саратовский государственный медицинский университет; e-mail: \*selif-ei@yandex.ru)

Работа посвящена изучению антибактериальной активности композитов, полученных на основе природного сорбента, содержащих иммобилизованные антибиотики (тетрациклин и доксициклин). Установлено, что оба исследуемых композита оказывают эффективное подавляющее действие на штамм *Staphylococcus aureus* и не действуют на *Escherichia coli*. В работе также представлены результаты исследования элементного состава и некоторые характеристики пористой поверхности глауконитового сорбента Белоозерского месторождения Саратовской обл.

**Ключевые слова:** глауконит, тетрациклин, доксициклин, сорбция, золотистый стафилококк, кишечная палочка.

Изучением природных сорбентов занимаются ученые многих отраслей, таких как биология, медицина, животноводство, растениеводство и др., поскольку существует реальная возможность повысить с их помощью продуктивность животноводства и растениеводства, а также улучшить условия окружающей среды. Необходимость использования природных сорбентов особенно актуальна в период техногенных перегрузок экосистем во многих регионах страны.

Глауконит – природный минерал из группы гидрослюдов подкласса слоистых силикатов, представитель природных цеолитсодержащих минералов. Чаще всего встречается в осадочных породах в виде мелких округленных зеленых зерен размером 0,1–0,9 мм. Крупные месторождения глауконитов обнаружены во всем мире (США, Япония, Австралия, Западная и Восточная Европа), в том числе на территории России и стран СНГ [1, 2]. Глауконит обладает высокой дисперсностью и физико-химической активностью, проявляет когезионно-адгезионные свойства и способность к регенерации [3]. Изучение возможности широкого применения природных глауконитов в животноводстве и ветеринарии в настоящее время актуально в связи с их ярко выраженными сорбционными свойствами, низкой десорбцией, экологической безопасностью и сравнительно низкой стоимостью [4]. Эффективное действие природных алюмосиликатов в качестве энтеросорбентов, проявляющееся в первую очередь в желудочно-кишечном тракте, обусловлено в основном их

буферными, ионообменными и сорбционными свойствами. Обладая большой активной поверхностью, глауконитовые адсорбенты селективно сорбируют воду, фенолы, углеводороды, экзо- и эндотоксины, тяжелые металлы, радионуклиды, продукты метаболизма, некоторые микроорганизмы. Наряду с этим глауконит способен отдавать ряд макро- и микроэлементов, необходимых для жизнедеятельности организма, регулировать состав и концентрацию электролитов пищеварительного тракта, а через них – минеральный обмен и кислотно-щелочное состояние организма [5, 6].

Лечебные вещества и мази на основе глауконита эффективно применяются как наружное средство для лечения кожных заболеваний, а также остеохондроза, подагры и других заболеваний суставов. Кремы с глауконитом хорошо показали себя в косметологии при лечении воспалительных и аллергических заболеваний кожи, угревой сыпи, жирной себореи, псориаза и дерматита [7].

Изученные в настоящее время антибактериальные препараты на основе глины включают в основном наночастицы металлов или антибактериальное лекарство [8]. Так, монтмориллонит и донные отложения способны сорбировать сульфонамиды и антибиотики [9, 10]. Сведения о сорбции тетрациклина и доксициклина глауконитом и антибактериальных свойствах композитов глауконита с иммобилизованными антибиотиками в литературе встречаются редко. Антибиотики тетрациклинового ряда наряду с сульфанилами-

дами и пенициллинами часто используют в медицине и ветеринарии по причине их высокой противомикробной активности и низкой стоимости препаратов, известны около 40 природных и 3000 синтетических тетрациклиновых антибиотиков. Ежегодно в сфере ветеринарии в России, США и Европе используют соответственно более 3350, 3200 и 2575 т тетрациклинов [11], поэтому интересен и актуален вопрос создания композитов для внутреннего и наружного применения на основе природных сорбирующих соединений и антибактериальных препаратов, совмещающих в себе хорошие бактерицидные и сорбционные свойства.

### Материалы и методики

В работе использовали обогащенную фракцию глауконита, полученную из глауконитового песка Белоозерского месторождения методом магнитной сепарации и содержащую 85% глауконита. Морфологические характеристики глауконита изучали на сканирующем электронном микроскопе «MIRA 2 LMU» («Tescan», Чехия). Элементный состав обогащенного глауконита установлен с помощью системы энергодисперсионного микроанализа «INCA Energy 3502» (СЭМ), а также на рентгенофлюориметре «Innov X-5000» с кремниевым дрейф-детектором. Текстурные характеристики алюмосиликата изучены методом измерения удельной поверхности сорбентов (метод Брюнера–Эммета–Теллера, БЭТ), основанный на измерении равновесной адсорбции азота при 77 К на приборе «Quantachrome nova 2200».

В качестве биологически активных веществ нанокompозита использовали антибактериальные препараты тетрациклин и доксициклин. Получение композита глауконита с антибиотиками проводили методом сорбции в статическом режиме при комнатной температуре. Для получения композитов навески глауконита (0,5 г) вносили в конические колбы, заливали 25 мл исходного водного раствора тетрациклина (ТЦ,  $C_{\text{ТЦ}}^0 = 5,198 \cdot 10^{-5}$  моль/л) или доксициклина гидрохлорида (ДЦ,  $C_{\text{ДЦ}}^0 = 8,316 \cdot 10^{-5}$  моль/л) и перемешивали в течение 90 мин на магнитной мешалке. После фильтрации оставшуюся твердую фазу высушивали при комнатной температуре. Остаточную концентрацию антибиотиков в фильтрате определяли спектрофотометрически ( $\lambda = 346$  нм) по предварительно построенному градуировочному графику.

Антибактериальную активность полученных композитов глауконита с иммобилизованными антибиотиками исследовали на штаммах

*Staphylococcus aureus ATCC 6538-P* и *Escherichia coli ATCC 25922*. Проводили мерный высеv по 1 мл бульонных культур штамма ( $10^5$  КОЕ) на мясопептонный агар сразу, а также через 3 и 6 ч после посева с последующим подсчетом выросших колоний. Для этого к навескам композита добавляли 100 мл стерильного мясо-пептонного бульона (МПБ), затем инокулировали по 1 мл взвеси чистых суточных культур указанного штамма, приготовленных по стандарту мутности ФГУН ГИСК им. Л.А. Тарасевича (ОП 0,75 при длине волны 600 нм) и разведенных физиологическим раствором до установления конечной концентрации  $10^5$  КОЕ/мл. В качестве контроля использованы посеvы исследуемых штаммов как в чистом МПБ, так и в МПБ, содержащем навески глауконита и композита. Навески композитов для создания субингибирующих концентраций были подобраны с учетом минимальных ингибирующих концентраций тетрациклина и доксициклина для опытных штаммов. Все посеvы повторяли трижды и инкубировали в термостате при 37 °С. Статистическую обработку результатов проводили, рассчитывая среднее арифметическое числа клеток (М) в 1 мл и стандартное отклонение (m) с последующим определением достоверности различий с контрольными посевами между средними величинами с вероятностью 95%.

### Результаты и их обсуждение

Установлена развитая слоистая поверхность зерен, образованная чешуйками различной формы и размеров. Толщина чешуек варьирует от 10 до 90 нм, расстояние между ними 10–200 нм (рис. 1).

Элементный состав обогащенного глауконита установленный с помощью системы энергодисперсионного микроанализа, а также рентгенофлюориметра приведен в табл. 1, откуда следует, что для исследуемого глауконита характерен большой набор макро- и микроэлементов. Исходные данные для построения изотем адсорбции-десорбции азота на глауконите приведены в табл. 2.

Определение удельной поверхности из изотерм проводили методом БЭТ. Наиболее удобной формой для его приложения к экспериментальным данным является уравнение:

$$\frac{1}{W(P_0/P) - 1} = \frac{1}{W_m C} + \frac{C - 1}{W_m C} (P_0/P),$$

где  $P$  – давление газа,  $P_0$  – давление его насыщенных паров,  $W$  – масса газа, адсорбированного при относительном давлении  $P/P_0$ ,  $W_m$  – вес адсорбированного вещества, образующего покрывающий

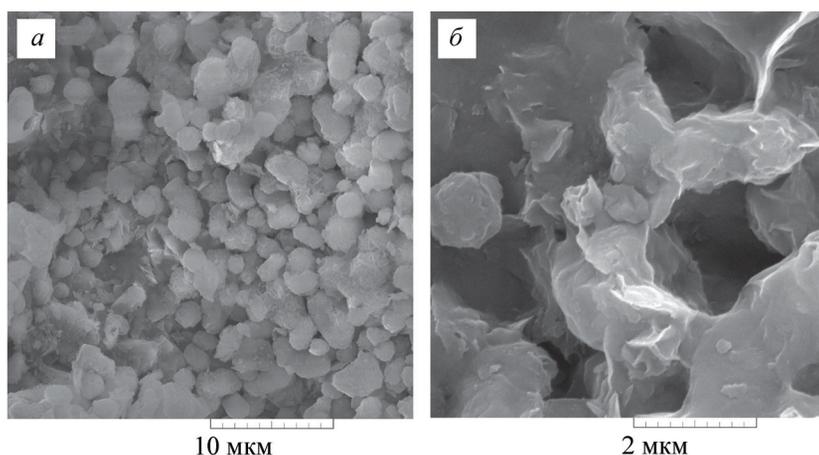


Рис. 1. Электронные микрофотографии обогащенного глауконита. Увеличение 10 000 (а) и 50 000 (б)

всю поверхность монослой,  $C$  – константа ВЕТ, относящаяся к энергии адсорбции в первом адсорбированном слое, а следовательно, ее значение характеризует взаимодействие адсорбента и адсорбата.

Полученные изотермы адсорбции-десорбции азота на глауконите по IUPAC-классификации относятся к изотермам IV типа, для которых характерно наличие петли капиллярно-конденсационного гистерезиса, что является признаком присутствия мезопор размером от 2 до 50 нм (рис. 2).

Резкий подъем на изотерме при значениях  $P/P_0$ , близких к 1, указывает на небольшое число крупных пор в образце. При этом резкий подъем в области низких давлений идентичен форме изотермы I типа, которая характерна для микропористых сорбентов. Можно также отметить, что по классификации де Бура форма петли гистерезиса соответствует типу В и указывает на наличие щелевидных пор [12]. Таким образом, во всех исследуемых образцах преобладает мезопористая структура и присутствует небольшое число микро- и макропор. Из адсорбционной и десорбционной ветвей изотерм получены следующие текстурные характеристики обогащенного

глауконита: удельная поверхность  $35,04 \text{ м}^2/\text{г}$ , суммарный объем пор ( $P/P_0 = 0,98$ )  $0,048 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Оценены параметры сорбционной способности глауконита по отношению к доксициклину ( $R = 91,2\%$ ) и тетрациклину ( $R = 82,3 \%$ ). Они адсорбируются на поверхности минерала за счет процесса хемосорбции, чему способствует наличие гидроксильных групп в структуре глауконита и активных групп в составе исследуемых антибиотиков. Доксициклин и тетрациклин адсорбируются на минеральной поверхности глауконита в результате процесса хемосорбции. Этому способствует присутствие силанольных и силансидных групп в структуре сорбента, представляющих собой активные центры, взаимодействующие с различными функциональными группами антибиотиков. Полученные результаты согласуются с работой [9], в которой описана адсорбция тетрациклина на других алюмосиликатах.

Изучено влияние глауконита, исходных антибиотиков, а также композитов на их основе на динамику развития популяций штаммов *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* в Lag- и Log-фазе. Lag-фаза – фаза адаптации к питательной среде, она является основной и длится первые 3–4 ч

Таблица 1

**Средний макроэлементный (сканирующий электронный микроскоп) и микроэлементный (рентгенофлуоресцентный анализ) состав глауконита ( $m, \%$ )**

Макро-элемент	C	O	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Fe
$m, \%$	14,21	48,27	1,05	3,54	20,98	1,10	2,15	1,86	8,59
Микро-элемент	Cr	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	V	Zr	Sr
$m, \%$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$

Т а б л и ц а 2

## Данные для построения изотем адсорбции-десорбции

Адсорбция		Десорбция	
относительное давление	объем, см <sup>3</sup> /г	относительное давление	объем, см <sup>3</sup> /г
0,013509	4,4071	0,98673	28,837
0,040473	5,0359	0,98473	28,9049
0,06913	5,404	0,94747	23,7341
0,096658	5,667	0,90614	20,0495
0,124934	5,8962	0,86465	17,7445
0,153141	6,107	0,82027	15,8736
0,181455	6,3078	0,77409	14,4743
0,209815	6,4966	0,73828	13,6187
0,241813	6,9521	0,69797	12,8368
0,269754	7,1325	0,65694	12,1017
0,297381	7,3395	0,61535	11,4389
0,367441	7,9164	0,57333	10,8503
0,437334	8,5449	0,52988	10,0525
0,504771	8,9089	0,48601	9,854
0,577478	9,6159	0,44144	8,6966
0,641558	10,4132	0,40037	8,1811
0,710406	11,4557	0,35837	7,7652
0,782564	12,7994	0,31618	7,3709
0,852693	14,9008	0,27488	6,9914
0,916788	18,2993	0,23343	6,6109
0,986734	28,837	0,19165	6,2308
–	–	0,14966	5,84

после посева использованных штаммов. Клетки начинают размножаться и расти только в конце этой фазы. Известно, что в lag-фазе антибиотики обычно не влияют на бактерии, поэтому было интересно изучить влияние на них глауконитовой матрицы и композита. Из табл. 2 видно, что глауконит в концентрации 0,25 и 0,5 мг, а также композит глауконита с доксициклином (0,03 и 0,015 мг) и доксициклин в концентрации 0,125 и 0,25 мкг/мл не оказывают существенного подавляющего действия на рост клеток *Staphylococcus aureus*. Аналогичный результат наблюдается в эксперименте с глауконитом (1,25 и 2,5 мг). Чистый тетрациклин (2 и 4 мкг/мл) и его композит с глауконитом (1,25 и 2,5 мг) также незначительно подавляют рост бактерий *Staphylococcus aureus* в lag-фазе. Log-фаза – фаза логарифмического роста, она характеризуется интенсивным размножением бактерий в питательной среде,

начинается через 5–6 ч после посева, ее продолжительность составляет в среднем 10–12 ч. В эту фазу антибиотики оказывают максимальное воздействие на бактерии. Так, доксициклин в концентрации 0,125 и 0,25 мкг/мл существенно подавляет рост стафилококка. В то время как глауконитовая матрица (0,25 и 0,5 мг), а также композит (0,015 мг) не проявляют активности к стафилококку. Однако отмечены достоверные различия числа клеток стафилококка для композита с доксициклином (0,03 мг) и контроля (К) через 6 ч инкубации.

Исследования действия композитов с тетрациклином показали, что оба значения концентрации композитов (1,25 и 2,5 мг) проявляют антибактериальный эффект, соизмеримый с действием чистого антибиотика. Подтверждено, что глауконит не оказывает подавляющего действия на стафилококк.

Т а б л и ц а 3

Среднее число клеток *Staphylococcus aureus* и *Eschrichia coli* (M, КОЕ/мл) и его стандартное отклонение (m) в зависимости от условий культивирования (n = 3; p = 0,95)

M±m КОЕ/мл <i>Staphylococcus aureus</i>							
условия культивирования							
Время высева, ч	К**	глауконит 0,5 мг	глауконит 0,25мг	ДЦ (0,25 мкг/мл)	ДЦ (0,125 мкг/мл)	композит с ДЦ (0,03мг)	композит с ДЦ (0,015мг)
0	600±290	420±50	550±80	330±70	330±90	350±160	290±130
3 (Lag-фаза)	1040±260	570±180	970±110	440±170 <sup>2</sup>	410±110 <sup>2</sup>	490±170 <sup>2</sup>	1120±450
6 (Log-фаза)	7230±2350	8730±960	6490±2700	620±20 <sup>2</sup>	500±90 <sup>2</sup>	660±210 <sup>2</sup>	12010±5210
Время высева	К**	глауконит 2,5 мг	глауконит 1,25 мг	ТЦ (4 кг/мл)	ТЦ (2 мкг/мл)	композит с ТЦ (2,5 мг)	композит с ТЦ (1,25 мг)
0	323±93	451±80	442±65	451±77	470±62	519±29	446±84
3 (Lag-фаза)	1967±208	1663±323	1693±170	630±262 <sup>2</sup>	710±252 <sup>2</sup>	777±212 <sup>2</sup>	753±152 <sup>2</sup>
6 (Log-фаза)	12767±568	13500±888	13800±1277	673±392 <sup>2</sup>	798±282 <sup>2</sup>	937±182 <sup>2</sup>	1267±252 <sup>2</sup>
M±m КОЕ/мл <i>Eschrichia coli</i>							
условия культивирования							
Время высева	К**	глауконит 0,5 мг	глауконит 0,25 мг	ДЦ (8 мкг/мл)	ДЦ (4 мкг/мл)	композит с ДЦ (0,5мг)	композит с ДЦ (0,25мг)
0	540±200	720±230	710±50	480±160	690±80	460±120	820±290
3 (Lag-фаза)	1330±130	1000±80	980±100	420±20 <sup>2</sup>	500±90 <sup>2</sup>	1680±150	1300±260
6 (Log-фаза)	42200±14800	40900±6400	52300±15400	270±70 <sup>2</sup>	470±60 <sup>2</sup>	35400±14670	40660±6650
Время высева	К**	глауконит 2,5мг	глауконит 1,25мг	ТЦ (80 мкг/мл)	ТЦ (40 мкг/мл)	композит с ТЦ (12,5 мг)	композит с ТЦ (5,25 мг)
0	453±170	630±220	720±60	310±130	355±70	485±150	690±230
3 (Lag-фаза)	1120±110	940±70	990±110	405±30 <sup>2</sup>	464±60 <sup>2</sup>	1560±220	1740±190
6 (Log-фаза)	36152±12500	37700±3600	43300±13500	520±90 <sup>2</sup>	635±120 <sup>2</sup>	31640±4310	33120±9750

\*Достоверные различия с контролем; \*\*посев в МПБ без веществ.

При исследованиях с бактериями *Eschrichia coli* доксицилин и тетрацилин проявили ожидаемые антибактериальные свойства и оказали существенное подавляющее действие на рост данной бактерии. Композит как с доксицилином, так и с тетрациклином не проявил антибактериальных свойств по отношению к кишечной палочке. Глауконитовая матрица не оказала антибактериального действия, как в случае с *Staphylococcus aureus*, что позволяет сделать вывод об отсутствии антибактериального эффекта по отношению к исследуемым штаммам при использовании чистого глауконита.

Таким образом, сорбированные доксицилин и тетрацилин в ингибирующих концентрациях подавляют развитие популяции штамма

*Staphylococcus aureus* в логарифмическую фазу роста, но практически не оказывает влияния на развитие штамма *Eschrichia coli*.

Антибактериальный эффект исследуемых антибактериальных препаратов основан на подавлении синтеза белка на уровне бактериальной рибосомы. В случае композитов глауконита с антибиотиками важно определить воздействие самой глауконитовой матрицы. Обсуждая возможный механизм антибактериального действия полученных композитов, следует сказать, что кроме антибактериальных свойств самих антибиотиков важна также возможность прямого контакта бактериальной мембраны с гидрофильными частицами глауконита при его «обволакивании» бактериальных клеток. Подтверждением такого

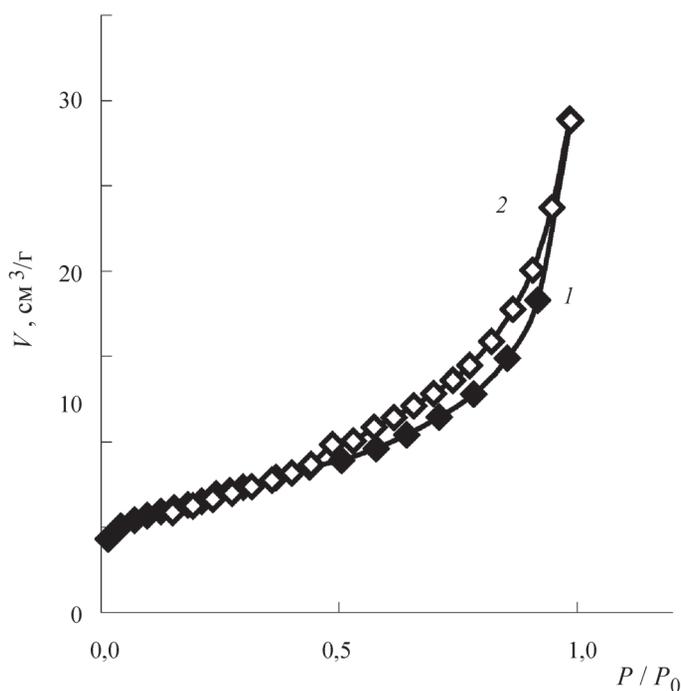


Рис. 2. Изотермы адсорбции (1) – десорбции (2) азота при 77 К на обогащенном глауконите

полезного свойства глауконитовой матрицы может служить работа [13], в которой изучалось взаимодействие бактериальных мембран с глиняными частицами каолинита и смектита. Они показали ориентацию частиц вокруг бактериальной клеточной стенки в результате образования поляядерного комплексного мостика  $[Al_{13}(OH)_{31}]^{7+}$ . Одним из преимуществ полученных композитов является сочетание их сорбционной и антибактериальной активности.

### Выводы

В данной работе были установлены макро- и микроэлементный состав, а также морфология поверхности зерен 85%-го обогащенного глауконита, полученного из глауконитового песка Белоозерского месторождения. Получены некоторые текстурные характеристики исследуемого сорбента. Проведена иммобилизация антибактериальных препаратов: тетрациклина и

доксидциклина в глауконитовую матрицу, которая проявляет выраженные сорбционные свойства, экологически безопасна, а также широко распространена и доступна. Изучено влияние полученных композитов глауконита с тетрациклином и доксициклином в ингибирующих концентрациях на рост стафилококка и кишечной палочки. Установлено, что оба композита проявляют антибактериальную активность по отношению к стафилококку, однако в случае кишечной палочки подобного эффекта не обнаружено. Показаны достоверные различия в числе колоний *Staphylococcus aureus* по сравнению с контрольными посевами. Представляют интерес дальнейшее исследование бактерицидных свойств композитов глауконита с иммобилизованными агентами на других штаммах микроорганизмов и оценка перспектив их применения в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дистанов У.Г. Глаукониты. Природные сорбенты СССР. М., 1990.
2. Левченко М.Л. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. Вып. 2. С. 23.
3. Левченко М.Л., Губайдуллина А.М. // Бурение и нефть. 2009, № 4. С. 56.
4. Мухина Н. // Птицеводство. 1991. №4. С. 24.
5. Басыров А.Р., Гадиев Р.Р. / Вестн. Башкирского государственного аграрного университета. 2012. № 1. С. 62.
6. Овчинников А.А., Долгунов А.А. // Уч. Зап. Казанской ГАВМ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 208. С. 60.
7. Гапарова А.Ш. // Вестн. Кыргызской государственной медицинской академии им. И.К. Ухунбаева. 2013. Вып. 3. С. 28.
8. Bagchi B., Kar S., Dey S.K., Bhandary S., Roy D.,

- Mukhopadhyay T.K., Das S., Nandy P.* // Colloids Surf B Biointerfaces. 2013. Vol. 108. P. 358.
9. *Avisar D., Primor O., Gozlan I, Mamane H.* // Water, Air, & Soil Pollution. 2010 Vol. 209. N 1. P. 439.
10. *Wang J., Hu J., Zhang S.* // J. Colloid Interface Sci. 2010. Vol. 349. N 2. P. 578.
11. *Daghrir R., Drogui P.* // Environ. Chem. Lett. 2013. Vol. 11. P. 209.
12. *Адамова Л.В., Сафронов А.П.* Сорбционный метод исследования пористой структуры наноматериалов и удельной поверхности наноразмерных систем. Екатеринбург, 2008. С.
13. *Walker S.G., Flemming C.A., Ferris F.G., Beveridge T.J., and Bailey G.W.* // Appl Environ Microbiol. Vol. 55. N 11 P. 2976.

Поступила в редакцию 12.05.17

## ANTIBACTERIAL COMPOSITES BASED ON NATURAL SORBENT

S.B. Venig<sup>1</sup>, R.K. Chernova<sup>1</sup>, V.G. Serzhantov<sup>1</sup>, A.A. Selifonov<sup>1</sup>,  
O.G. Shapoval<sup>2</sup>, O.V. Nechaeva<sup>2</sup>, V.P. Splyukhin<sup>1</sup>, E.I. Selifonova<sup>1</sup>, G.N. Naumova<sup>1</sup>,  
N.N. Scherbakova<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Saratov National Research State University; <sup>2</sup> Saratov State Medical University;  
\*e-mail: selif-ei@yandex.ru)

**The paper presents studies of antibacterial activity of composites obtained on the basis of natural sorbent with immobilized antibiotics: tetracycline and doxycycline. Both investigated composites showed an effective inhibitory effect on the strain of *Staphylococcus aureus* and are not effective against *Escherichia coli*. The paper also presents the results of an investigation of the elemental composition and some characteristics of the porous surface of the glauconite sorbent of the Beloozero deposit in the Saratov region.**

**Key words:** glauconite, tetracycline, doxycycline, sorption, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*.

**Сведения об авторах:** *Вениг Сергей Борисович* – зав. кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством на ФНБМТ, профессор, докт. физ.-матем. наук (sergey.venig@mail.ru); *Чернова Римма Кузьминична* – профессор кафедры аналитической химии и химической экологии химического факультета СГУ им. Н.Г. Чернышевского, докт. хим. наук (chernov-ia@yandex.ru); *Сержантов Виктор Геннадиевич* – доцент кафедры аналитической химии и химической экологии химического факультета СГУ им. Н.Г. Чернышевского, канд. физ.-матем. наук (serzhantov55@mail.ru); *Селифонов Алексей Андреевич* – аспирант физического факультета СГУ им. Н.Г. Чернышевского (selif-ei@yandex.ru), *Шаповал Ольга Георгиевна* – ассистент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии СГМУ им. В.И. Разумовского, канд. мед. наук (lavopash283741@yandex.ru); *Нечаева Ольга Викторовна* – ассистент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии СГМУ им. В.И. Разумовского, канд. биол. наук (olgav.nechaeva@rambler.ru); *Сплюхин Владимир Петрович* – науч. сотр. СГУ им. Н.Г. Чернышевского (spluhinvp@mail.ru); *Селифонова Екатерина Игоревна* – ст. науч. сотр. лаборатории наноаналитики ОНИ НС и БС СГУ им. Н.Г. Чернышевского, канд. хим. наук (selif-ei@yandex.ru); *Наумова Галина Николаевна* – лаборант лаборатории наноаналитики ОНИ НС и БС СГУ им. Н.Г. Чернышевского (naumova.galinka.93@mail.ru); *Щербакова Наталья Николаевна* – науч. сотр. СГУ им. Н.Г. Чернышевского, канд. техн. наук.