



УДК 552.513.4.08

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО ГЛАУКОНИТОМ

**И. Г. Швиденко, С. Б. Вениг, Р. К. Чернова,
Е. И. Селифонова, О. Г. Шаповал, Г. Н. Наумова,
В. Г. Сержантов, А. А. Селифонов, В. П. Сплюхин**



Швиденко Инна Григорьевна, доктор медицинских наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии, Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, microbe.sgm@mail.ru

Вениг Сергей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, sergey.venig@gmail.com

Чернова Римма Кузьминична, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, chernov-ia@yandex.ru

Селифонова Екатерина Игоревна, кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела наноаналитики Образовательно-научного института наноструктур и биосистем, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, selif-ei@yandex.ru

Шаповал Ольга Георгиевна, кандидат медицинских наук, старший преподаватель кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии, Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, ogshapoval@gmail.com

Наумова Галина Николаевна, лаборант отдела наноаналитики Образовательно-научного института наноструктур и биосистем, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, naumova.galinka.93@mail.ru

Сержантов Виктор Геннадиевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, serzhantov55@mail.ru

Селифонов Алексей Андреевич, аспирант физического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, peshka029@mail.com

Сплюхин Владимир Петрович, ассистент базовой кафедры сорбционных материалов на факультете нано- и биомедицинских технологий, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, vov1705@yandex.ru

Исследованы сорбционные свойства природного минерала глауконита по отношению к метиленовому синему, получен композит и определена его антибактериальная активность в отношении

штамма *Staphylococcus aureus* FDA 209P. Обогащенная фракция глауконита получена методом магнитной сепарации. С помощью сканирующей электронной микроскопии изучена морфология его поверхности, а методом энергодисперсионного микроанализа и рентгенофлуориметрии – элементный состав. Методом Брунера–Эммета–Теллера установлена текстура глауконита. Композит получен методом статической сорбции с иммобилизованным метиленовым синим. Антистафилококковая активность композита оценена по влиянию его субингибирующих по сорбированной метиленовой сини концентраций на динамику развития популяций стандартного штамма в фазу адаптации и лог-фазу роста.

Установлено, что глауконит имеет чешуйчатую наноразмерную структуру с доминированием мезопор, в макро- и микроэлементном составе по массовой доле преобладают кислород (48,27%), кремний (20,98%), углерод (14,21%) и хром ($1,3 \cdot 10^{-2}$ %). Его сорбционная емкость составляет $9,19 \cdot 10^{-7}$ моль/г. Опытные концентрации композита ингибируют развитие популяций стафилококка в лог-фазу роста.

Ключевые слова: глауконит, сорбция, композит, метиленовый синий, бактерицидные свойства, *Staphylococcus aureus*.

DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-91-97

Введение

Глауконит – широко распространённый в природе минерал слоистой структуры, водный алюмосиликат железа, кремнезема и оксида калия непостоянного состава. Белоозерское месторождение глауконитовых песков находится в Саратовской области (в 1,5 км восточнее с. Белое Озеро Лысогорского района). Запасы по категориям А+В+С1 составляют 5,5 млн тонн, при содержании глауконита более 30% [1]. Особенности состава и строения глауконита Белоозерского месторождения исследованы мало. Интерес к изучению глауконита постоянно возрастает как в России, так и за рубежом. Глауконит характеризуется высокими ионообменными, буферными и сорбционными свойствами, имеет богатый микроэлементный состав и достаточно низкую стоимость. Благодаря этим полезным свойствам глауконит применяется в различных сферах деятельности: экологии (очистка воздуха, почвы, воды [2–4]), сельском хозяйстве (кормовая добавка, минеральное удобрение [5–7]), энергетике (очистка нефтепродуктов, масел) [8], строительстве (строительные материалы, краска) [9], медицине (энтеросорбент, БАД), косметологии [10] и др.

Эффективное действие природных алюмосиликатов в качестве энтеросорбентов, проявляющееся в первую очередь при введении

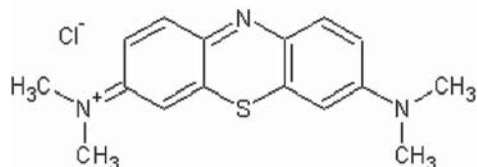


их в желудочно-кишечный тракт, обусловлено в основном их буферными, ионообменными и сорбционными свойствами [11]. Обладая большой активной поверхностью, глауконитовые адсорбенты селективно сорбируют воду, фенолы, углеводороды, экзо- и эндотоксины, тяжёлые металлы, радионуклиды, продукты метаболизма, некоторые микроорганизмы. Наряду с этим глауконит способен поставлять ряд макро- и микроэлементов, необходимых для жизнедеятельности организма, регулировать состав и концентрацию электролитов пищеварительного тракта, а через них – минеральный обмен и кислотно-щелочное равновесие в организме [12, 13].

Лечебные вещества и мази на основе глауконита эффективно применяются как наружное средство для лечения различного рода 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, псориазе, дерматите [10].

Изученные в настоящее время антибактериальные препараты на основе глин включают в основном наночастицы металлов или антибактериальные препараты [14]. Так, монтмориллонит и донные отложения способны сорбировать сульфонамиды, антибиотики [15, 16].

Метиленовый синий (метилен, метиленовая синь, метиленовый голубой) имеет структурную формулу



Препарат производится в виде кристаллического темно-зеленого порошка. Это основной триазинный краситель, широко применяемый в промышленности. Окрашивает хлопок, шелк и бумагу в яркий голубой цвет, хотя окрашивание выцветает на свету. Применяется для окрашивания бумаги, изготовления цветных карандашей и полиграфических красок, получения фаналевых лаков. Является металлохромным индикатором, в аналитической химии применяется для определения Mg, Ca, Cd, Co (II), Ni, Zn при pH 10; окислительно-восстановительный индикатор (восстановленная форма – бесцветна, окисленная приобретает синюю окраску); реагент для обнаружения некоторых анионов, например перхлорат-иона.

Метиленовый синий обладает выраженным бактерицидным действием. Раствор метиленового синего – исключительно эффективное анти-

септическое средство, которое давно доказало свою эффективность. Применяется в ветеринарии и аквариумистике как антисептик во время инкубирования икры. Наружный и внутренний антисептик. Антисептик при отравлении цианидами, угарным газом и сероводородом [17].

Механизм действия препарата основан на его способности образовывать малорастворимые комплексные соединения с мукополисахаридами и белками бактериальной клетки, что приводит к гибели микроорганизмов. При местном применении препарат не абсорбируется в системный кровоток.

Адсорбцию как метод иммобилизации веществ органической природы на углеродных материалах применяют довольно часто. Так проводилось изучение метиленового голубого порошкообразными древесными углями и углеродными волокнами [18], активированными углями [19, 20].

Однако иммобилизация антибактериальных веществ на белоозерском глауконите в литературе практически не встречается, хотя имеется несомненный интерес к подобного рода природным сорбентам с иммобилизованными антибактериальными веществами.

Целью настоящей работы явилось исследование сорбционных свойств глауконита по отношению к метиленовому синему, получение композита глауконита с метиленовым синим и исследование его бактерицидных свойств.

Материал и методы

Использовали обогащённую фракцию глауконита, полученную из глауконитового песка Белоозерского месторождения методом магнитной сепарации и содержащую 85% глауконита. Морфологические характеристики глауконита изучали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) MIRA 2 LMU (Tescan, Чехия). Элементный состав обогащённого глауконита установлен с помощью системы энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (СЭМ), а также на рентгенофлуориметре Innov X-5000 с кремниевым дрейф-детектором. Текстуальные характеристики алюмосиликата были изучены методом Брюнера–Эммета–Теллера (БЭТ) путем оценки удельной поверхности сорбента, основанной на измерении равновесной адсорбции азота при 77 К на приборе Quantachrome nova 2200.

Электронные спектры поглощения растворов регистрировали на двухлучевом сканирующем спектрофотометре Shimadzu UV-2550(РС) (Япония).

Для получения композитов навески глауконита 0,5 г вносили в конические колбы, прибавляли 25 мл исходного водного раствора метиленового синего (х.ч.) ($C_0(МС)=2 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и перемешивали.



вали в течение 90 мин на магнитной мешалке. Фильтрованием отделяли твердую фазу, высушивали при комнатной температуре. Остаточную концентрацию красителя в фильтрате определяли спектрофотометрически ($\lambda = 665$ нм) по предварительно построенному градуировочному графику (рис. 1).

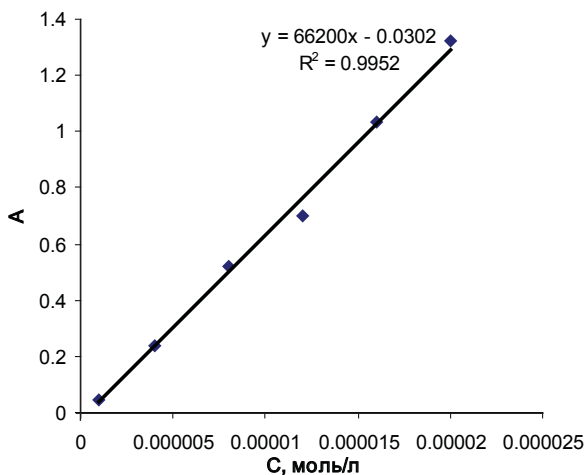


Рис. 1. Градуировочный график для определения остаточной концентрации метиленового синего

Антибактериальную активность глауконита с иммобилизованным метиленовым синим исследовали на штамме *Staphylococcus aureus* FDA 209P. Предварительно методом двукратных серийных разведений в мясо-пептонном бульоне определяли минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) водного раствора метиленовой сини, используемого для сорбции. Антимикробную активность композита оценивали путем культивирования опытных штаммов в колбах с мясо-пептонным бульоном (МПБ), содержащим навески композита, позволяющие создать субингибирующие концентрации метиленового синего при микробной нагрузке 10^3 КОЕ/мл. Для

изучения динамики развития популяций осуществляли мерный высев (сразу после посева, на 3-м и 7-м часу культивирования) на мясо-пептонный агар с последующим расчетом количества КОЕ/мл питательной среды. В качестве контроля использовали навески глауконита без метиленовой сини и мясо-пептонный бульон без композита и глауконита. Эксперимент повторяли трижды. Статистическую обработку результатов проводили, определяя средние арифметические (M) количества КОЕ/мл питательной среды и стандартное отклонение (m) с оценкой достоверности различий между найденными значениями $M \pm m$: на каждый период посева сравнивали значения в контроле (МПБ без веществ) и каждом условии культивирования (с композитом массой 0,25 и 0,125 г, глауконитом массой 0,25 и 0,125 г), а также сравнивали значения M для условий культивирования в разных навесках глауконита и композита.

Результаты и их обсуждение

Используемый в данной работе глауконит Белоозерского месторождения Саратовской области имеет слоистую чешуйчатую структуру, чем и объясняются хорошие сорбирующие свойства этого минерала. Проводилась идентификация минерала по его кристаллоструктурным характеристикам. Полученный фазовый состав, характерный для глауконита Белоозерского месторождения, содержал: аннит ($\text{KFe}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), биотит ($\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH,F})_2$), эпистильбит ($\text{Ca}_3(\text{Si}_{18}\text{Al}_{16})\text{O}_{48} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$), геденбергит ($\text{CaFaSi}_2\text{O}_6$), алюмокалиевый оксид ($\text{Al}_2\text{K}_2\text{O}_4$), санидин ($\text{K}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$), геденбергид ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$), железнопериклаз ($(\text{Mg,Fe})\text{O}$), кварц (SiO_2).

Морфология поверхности природного сорбента была изучена на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Толщина чешуек варьировала от 10 до 90 нм, расстояние между ними составляло 10–200 нм (рис. 2).

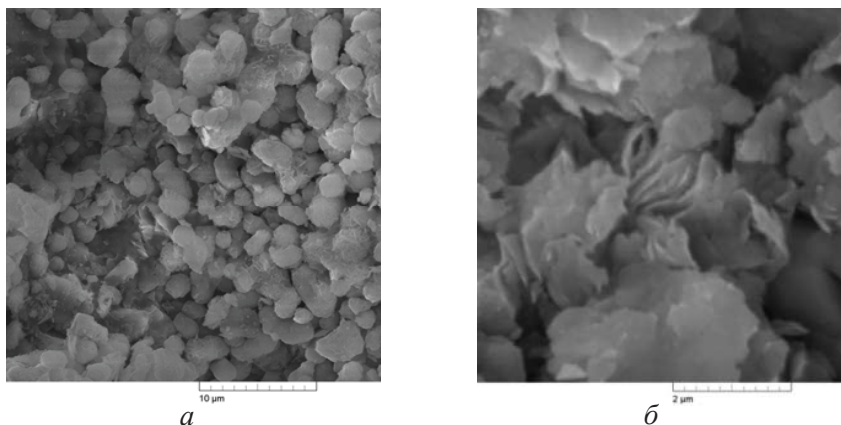


Рис. 2. Электронные микрофотографии обогащённого глауконита: а – увеличение 10 000, б – 50 000 раз



Элементный состав исследуемого глауконита, установленный с помощью системы

энергодисперсионного микроанализа, а также рентгенофлуориметра, приведён в табл. 1.

Таблица 1

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

Макроэлемент	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
Микроэлемент	Cr	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	V	Zr	Sr
m, %	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$

Как следует из табл. 1, исследуемый глауконит характеризуется большим набором макро- и микроэлементов.

Вопрос о количестве связанной структурной воды в минералах является одним из важнейших в кристаллохимии. По результатам термографического анализа исследуемого глауконита было установлено наличие на термограмме нескольких небольших эндотермических эффектов: в интервале температур 70–140 °С, в интервале 360–540 °С и при 573 °С. Первый эндоэффект (70–140 °С) обусловлен удалением адсорбционной влаги. Второй, менее интенсивный, эндотермический эффект в среднетемпературной области (360–540 °С) может быть отнесён к выделению конституционной воды (межслоевой). Третий эндоэффект, согласно литературным данным, соответствует α - β переходу кварца при 573 °С. Содержание воды в обогащенном глауконите составляет 2%, а убыль массы к 900 °С – 6%.

Исследуемый образец имеет преобладающую мезопористую структуру и небольшое число микро- и макропор. Методом БЭТ получены следующие текстурные характеристики обогащённого глауконита: удельная поверхность составила 35.04 м²/г, суммарный объём пор ($P/P_0=0.98$) – 0.048 см³/г.

Методом статической сорбции получен композит глауконита с иммобилизованным метиленовым синим. Оценены параметры сорбционной способности обогащенного глауконита по отношению к метиленовому синему (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета основных сорбционных параметров метиленового синего на глауконите

$C_{исх}$, моль/л	$C_{ост}$, моль/л	$C_{погл}$, моль/л	CE, моль/г	R, %
$2,00 \cdot 10^{-5}$	$1,62 \cdot 10^{-6}$	$1,84 \cdot 10^{-5}$	$9,19 \cdot 10^{-7}$	92

Остаточную концентрацию красителя в растворе после сорбции определяли спектрофотометрически по предварительно построенному градуировочному графику (см. рис. 1) в координатах «оптическая плотность – концентрация» (рис. 3).

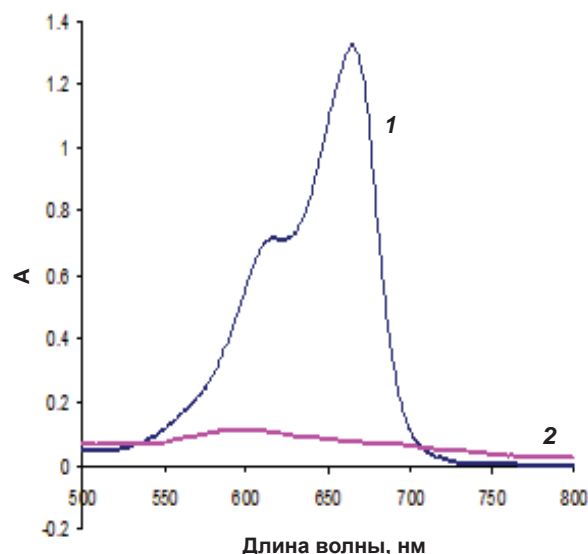


Рис. 3. Спектр поглощения раствора метиленового синего до (1) и после (2) сорбции обогащённым глауконитом

Используя величины исходной ($C_{исх}$) и остаточной ($C_{ост}$) концентрации красителя с учётом массы сорбента и объема сорбата, рассчитывали сорбционную ёмкость глауконита:

$$CE = \frac{(C_{исх} - C_{ост}) \cdot V}{m}$$

где $C_{исх}$ – концентрация красителя до сорбции, моль/л; $C_{ост}$ – концентрация красителя после сорбции, моль/л; V – объём раствора, из которого проводили сорбцию (25 мл); m – масса сорбента (0,5 г).

Степень извлечения сорбата R оценивали по формуле

$$R = \frac{(C_{исх} - C_{ост})}{C_{исх}} \cdot 100\%$$

Антимикробная активность композита в отношении стандартного штамма *Staphylococcus aureus* FDA 209P приведена в табл. 3.

В результате установлено, что МИК водного раствора метиленовой сини (бактерицидная и бактериостатическая) составляет в отношении штамма *S. aureus* 209P 7,2 мкг/мл. Значения $M \pm m$



Таблица 3

**Изменение количества КОЕ/мл ($M \pm m$) штамма *S.aureus* FDA 209P
в зависимости от времени и условий культивирования**

Условия культивирования	Время культивирования		
	0 ч	3 ч	7 ч
МПБ без глауконита и композита	650±148	1307±321	125200±20735
МПБ с композитом (глауконит с сорбированным метиленовым синим) массой 0,25г	333±64	1673±434	50950±9301
МПБ с композитом (глауконит с сорбированным метиленовым синим) массой 0,125г	447±45	1393±95	49070±10504
МПБ с глауконитом массой 0,25г	387±67	1257±397	67700±9471
МПБ с глауконитом массой 0,125г	677±306	3050±763	78830±14343

существенно различны в МПБ без глауконита и композита и опытных концентрациях композита на 7-м часу культивирования. Однако достоверности различий между найденными значениями $M \pm m$ при культивировании в опытных навесках глауконита и композита не выявлено. В присутствии только одного глауконита меньшее количество КОЕ/мл по сравнению с контролем оказалось статистически незначимым и обусловлено, очевидно, адсорбцией на нем размножающихся клеток.

Обсуждая возможный механизм сорбции метиленового синего, следует рассмотреть строение поверхности глауконита. Главной составной частью глауконита является кремнезём. Кремнезёмы содержат на своей поверхности свободные силанольные группы, которые частично ионизированы, в результате чего поверхность сорбента, насыщенная водой, несёт некоторый отрицательный заряд. На поверхности кремнезёмов находятся также силоксановые группы, обладающие протоноакцепторными свойствами, геминальные и вициальные силанольные группы, действующие как доноры протонов.

МС адсорбируется на поверхности глауконита в мономерной форме [21], и при адсорбции происходит полное восстановление протонированной молекулы красителя [22]. Восстановленная форма метиленового голубого МС, адсорбируемая на поверхности, бесцветна [23]. Можно полагать, что взаимодействие между функциональными группами МС и глауконитом протекает по донорно-акцепторному механизму [24].

Установлено, что адсорбция МС на поверхности глауконита описывается уравнением Лэнгмюра в пределах определенного интервала концентраций [25]. Согласно [21] можно пред-

положить, что в процессе сорбции метиленового синего принимают участие активные центры поверхности глауконита как кислотного, так и основного характера.

Заключение

1. Рассчитана сорбционная емкость обогащенного глауконита по отношению к метиленовому синему. Показано, что сорбируется восстановленная форма МС. Высказаны соображения о механизме сорбции.

2. Методами БЭТ, сканирующей электронной микроскопии и рентгенофлуориметрии, изучена морфология поверхности глауконита и его элементный состав.

3. Получен композит глауконита с иммобилизованным метиленовым синим и изучены его антимикробные свойства. Показано, что МИК водного раствора метиленовой сини (бактерицидная и бактериостатическая) составляет в отношении штамма *S.aureus* FDA 209P 7,2 мкг/мл. Установлено, что обе опытные концентрации композита задерживают динамику развития популяции опытного штамма в логарифмическую фазу роста. Однако в этом влиянии очевидна роль глауконита, которая требует дальнейшего изучения.

Благодарности

Выражаем искреннюю признательность кандидату физико-математических наук Захаревичу Андрею Михайловичу, заведующему лабораторией диагностики наноматериалов и структур ОНИ НС и БС Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского за помощь в изучении морфологии поверхности образцов на сканирующем электронном микроскопе и консультационную поддержку.



Список литературы

1. Левченко М. Л. Состояние сырьевой базы и возможности использования глауконитов в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. Вып. 2. С. 23.
2. Никитина Н. В., Комов Д. Н., Казаринов И. А., Никитина Н. В. Разработка комплексных гранулированных наноструктурных сорбентов различного назначения на основе природного бентонита // Сорбционные и хроматографические процессы. 2016. Т. 16, № 2. С. 191–199.
3. Печенюк С. И. Сорбция анионов на оксигидроксидах металлов (обзор) // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8, № 3. С. 380–429.
4. Наумова Г. Н., Селифонова Е. И., Чернова Р. К., Вениг С. Б., Сержантов В. Г., Захаревич А. М. О кинетике и механизме сорбции тетрациклина глауконитом // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. Т. 17, № 1. С. 141–147.
5. Наумова Г. Н., Гусакова Н. Н., Чернова Р. К., Селифонова Е. И., Вениг С. Б., Сержантов В. Г. Влияние глауконита на всхожесть и развитие семян некоторых зерновых культур // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 4. С. 388–392.
6. Постнова Ю. А., Жилетежева Ф. С. Микровит-10 для некорневой подкормки огурца // Картофель и овощи. 2008. № 8. С. 22–25.
7. Карнаухов Ю. А., Белоусов А. М. Влияние включения глауконита в рацион молодняка свиней на перевариваемость питательных веществ // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2012. Т. 33, № 1. С. 130–132.
8. Корнев А. Ю., Тупотилов Н. Н., Остриков В. В., Алибаев Б. Т. Опыт использования глауконитового концентрата из месторождений Тамбовской области для очистки нефтепродуктов // Наука в центральной России. 2014. Т. 2, № 8. С. 48–53.
9. Левицкий И. А., Папко Л. Ф., Павлюкевич Ю. Г., Баранцева С. Е. Стекловидные и стеклокристаллические материалы на основе глауконитосодержащего сырья // Стекло и керамика. 2005. № 6. С. 22–25.
10. Гапарова А. Ш., Чолтонбаев К. С. Глаукониты Кызыл-токойского месторождения в Кыргызстане как лекарственное сырье для медицины (обзор) // Вестн. Кыргыз. гос. мед. академии им. И. К. Ухунбаева. 2013. Вып. 3. С. 28–33.
11. Бетехтин А. Г. Курс минералогии. М. : Гос. науч.-техн. изд-во лит. по геологии и охране недр, 1956. 451 с.
12. Басыров А. Р., Гадиев Р. Р. Эффективность использования глауконита в рационах мясных гусей // Вестн. Башкир. гос. аграр. ун-та. 2012. № 1. С. 62.
13. Овчинников А. А., Долгунов А. А. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в рационе различных сорбентов // Учен. зап. Казан. ГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2011. № 208. С. 60.
14. Bagchi B., Kar S., Dey S. K., Bhandary S., Roy D., Mukhopadhyay T. K., Das S., Nandy P. In situ synthesis and antibacterial activity of copper nanoparticles loaded natural montmorillonite clay based on contact inhibition and ion release // Colloids and Surfaces B : Biointerfaces. 2013. Vol. 108. P. 358–365.
15. Avisar D., Primor O., Gozlan I., Mamane H. Sorption of Sulfonamides and Tetracyclines to Montmorillonite Clay // Water, Air, & Soil Pollution. 2010. Vol. 209, iss. 1–4. P. 439–450.
16. Wang J., Hu J., Zhang S. Studies on the sorption of tetracycline onto clays and marine sediment from seawater // J. of Colloid and Interface Sci. 2010. Vol. 349, iss. 2. P. 578–582.
17. Беликов В. Г. Учебное пособие по фармацевтической химии. М. : Медицина, 1979. 328 с.
18. Когановский А. М., Левченко Т. М., Кириченко В. А., Рода И. Г. Адсорбция органических веществ из воды. Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1990. 256 с.
19. Кинле Х., Бадеп Э. Активные угли и их промышленное применение : пер. с нем. Т. Б. Сергеевой. Л. : Химия. Ленингр. отд-ние, 1984. 216 с.
20. Когановский А. М., Левченко Т. М., Кириченко В. А. Адсорбция растворенных веществ. Киев : Наук. думка, 1977. 223 с.
21. Kim S. M., Jeong G. H., Lee K. Y., Kwon K., Han S. W. Fabrication of nanoporous superstructures through hierarchical self-assembly of nanoparticles // J. of Materials Chem. 2008. Vol. 18, № 19. P. 2208–2212.
22. Hosseini Mir Gh., Abdolmaleki M. Synthesis and characterization of porous nanostructured Ni/PdNi electrode towards electrooxidation of borohydride // Intern. J. of Hydrogen Energy. 2013. Vol. 38, iss. 13. P. 5449–5456.
23. Sagara T., Iizuka J., Niki K. Nickel-palladium nanoparticle catalyzed. Hydrogen generation from hydrous hydrazine for chemical hydrogen storage // Langmuir. 1992. Vol. 8, № 3. P. 1018–1025.
24. Simitzis J., Sfyraakis J. Activated carbon from lingo-cellulosic biomass-phenolic Resin // J. of Appl. Polymer Sci. 1994. Vol. 54, № 13. P. 2091–2099.
25. Левченков С. И. Физическая и коллоидная химия : конспект лекций для студентов биологического факультета Южного Федерального университета. URL: http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/PCC/Colloids_3.htm (дата обращения: 10.12.2017).

Studying of Sorption Methylene Blue Onto Glauconite

I. G. Shvidenko, S. B. Venig, R. K. Chernova,
E. I. Selifonova, O. G. Shapoval, G. N. Naumova,
V. G. Serzhantov, A. A. Selifonov, V. P. Splyukhin

Inna G. Shvidenko, ORCID 0000-0003-2123-3690, Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, 155 E, Moscovskaya Str., Saratov, 410012, Russia, microbe.sgm@mail.ru



Sergey B. Venig, ORCID 0000-0002-4759-5828, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, sergey.venig@gmail.com

Rimma K. Chernova, ORCID 0000-0002-1693-2836, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, chernov-ia@yandex.ru

Ekaterina I. Selifonova, ORCID 0000-0003-2497-5489, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, selif-ei@yandex.ru

Olga G. Shapoval, ORCID 0000-0002-8290-7524, Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, 155 E, Moscovskaya Str., Saratov, 410012, Russia, ogshapoval@gmail.com.

Galina N. Naumova, ORCID 0000-0003-3405-1255, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, naumova.galinka.93@mail.ru

Victor G. Serzhantov, ORCID 0000-0003-0047-9341, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, serzhantov55@mail.ru

Alexey A. Selifonov, ORCID 0000-0002-6270-9395, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, peshka029@mail.com.

Vladimir P. Splyukhin, ORCID 0000-0001-7526-9408, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, vov1705@yandex.ru

Sorptive properties of a natural mineral glauconite towards methylene blue were studied and a composite of both substances was obtained. Antibacterial activity of the composite has been assessed against *Staphylococcus aureus* FDA 209P. An enriched fraction of natural glauconite was obtained by method of magnetic separation. Surface morphology of the glauconite was examined with scanning electron microscopy. The elemental composition was investigated using energy-dispersive microanalysis and roentgen fluorimetry, the texture – using Brunauer–Emmett–Teller analysis. Method of statistic sorption with the immobilized methylene blue was used for the composite obtainment. Broth subinhibitory concentrations of methylene blue of the composite were tested for their influence on development of *S. aureus* FDA 209P populations in adaptive and log-phases of growth. It was found that the glauconite possess a flaky nanostructure with mesopores, mass fractions of oxygen (48,27%), silicon (20,98%), carbon (14,21%) and chrome ($1,3 \cdot 10^{-2}$ %) predominate in its macro- and microelemental composition, the sorptive capacity is equal to $9,19 \cdot 10^{-7}$ mol/g. The tested composite concentrations showed an inhibitory effect on development of *S. aureus* FDA 209P in a log-phase.

Key words: glauconite, sorption, composite, methylene blue, bactericidal properties, *Staphylococcus aureus*.

Образец для цитирования:

Швиденко И. Г., Вениг С. Б., Чернова Р. К., Селифонова Е. И., Шаповал О. Г., Наумова Г. Н., Сержантов В. Г., Селифонов А. А., Сплюхин В. П. Изучение сорбции метиленового синего глауконитом // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 91–97. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-91-97.

Cite this article as:

Shvidenko I. G., Venig S. B., Chernova R. K., Selifonova E. I., Shapoval O. G., Naumova G. N., Serzhantov V. G., Selifonov A. A., Splyukhin V. P. Studying of Sorption Methylene Blue Onto Glauconite. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 91–97 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-91-97.
