

## СОРБЦИЯ ИОНОВ АМБРОКСОЛА РАЗЛИЧНЫМИ ФРАКЦИЯМИ БЕЛООЗЁРСКОГО ГЛАУКОНИТА

С. Б. Вениг, Р. К. Чернова, В. Г. Сержантов, В. П. Сплюхин, М. А. Переспелова, Е. И. Селифонова, Г. Н. Наумова, А. М. Захаревич, А. А. Селифонов, И. О. Кожевников, Н. Н. Щербакова

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Образовательно-научный институт наноструктур и биосистем, отдел наноаналитики)*

Поступила в редакцию 6.05.2014 г.

**Аннотация.** Разработаны способы получения четырёх новых фракций глауконитового сорбента на основе природного минерала Белоозёрского месторождения Саратовской области. Приведены результаты изучения химического состава, структуры поверхности и некоторых физико-химических свойств этих фракций. В статических условиях изучена сорбция ионов амброксола полученными фракциями сорбента. Получены изотермы сорбции, которые описываются уравнением Ленгмюра, и рассчитаны значения максимальных сорбционных емкостей. Наибольшая степень извлечения ионов амброксола из водных растворов выявлена для мелкодисперсной фракции глауконита (до 60 мкм) и приближается к 90 %.

**Ключевые слова:** глауконит, сорбция, ионообменник, амброксола гидрохлорид, очистка воды, фармполлютанты.

**Abstract.** Ways of receiving four new fractions of glaukonit's sorbent on the basis of a natural mineral of the Beloozyorsky's field of the Saratov region are developed. Results of studying of a chemical composition, structure of a surface and some physical and chemical properties of these fractions are given. In static conditions sorption of ions of Ambroxol by the received fractions of a sorbent is studied. Sorption isotherms which are described by Lengmyur's equation are received, and values of the maximum sorption capacities are calculated. The greatest extent of extraction of ions of Ambroxol from water solutions is revealed for fine fraction of a glaukonite (to 60 microns) and approaches 90%.

**Keywords:** glaukonite, sorption, an ion exchanger, Ambroxol hydrochloride, water treatment, farmpollutant.

В последние годы для очистки сточных вод всё больший интерес представляют природные сорбенты, к которым относится глауконит. Существенными достоинствами этого минерала являются: широкое распространение, дешевизна, доступность, зернистая структура, термостойкость, хорошие ионообменные и фильтрационные свойства, а также возможность путем химического и структурного модифицирования направленно изменять технологические показатели минерала. Глауконит - широко распространенный в природе

минерал, общие ресурсы, которого оцениваются в 35,7 млрд. тонн. В России и бывших союзных республиках глауконит содержащие породы широко распространены [1]. Глаукониты различных месторождений имеют неодинаковый химический состав и различные сорбционные и ионообменные способности. Большое число работ посвящено изучению сорбционных свойств глауконита Бондарского месторождения Тамбовской области. Показано, что данный глауконит является полифункциональным сорбентом, эффективно извлекающим из водных растворов анилин (2), фенол [3,4], катионы тяжёлых металлов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  [5,6], катионы магния (II), кальция (II) [7, 8]. В работе [9] описан сорбционный метод очистки

© Вениг С. Б., Чернова Р. К., Сержантов В. Г., Сплюхин В. П., Переспелова М. А., Селифонова Е. И., Наумова Г. Н., Захаревич А. М., Селифонов А. А., Кожевников И. О., Щербакова Н. Н., 2016

Вениг С. Б., Чернова Р. К., Сержантов В. Г., Сплюхин В. П., Переспелова М. А., Селифонова Е. И., Наумова Г. Н., Захаревич А. М., Селифонов А. А., Кожевников И. О., Щербакова Н. Н.

водных объектов от техногенных радионуклидов с использованием гранулированного глауконита. Авторами [10] были изучены особенности структуры и сорбционные свойства глауконита Каринского месторождения.

Особенности глауконита Белоозёрского месторождения исследованы крайне мало, хотя оно относится к одному из самых перспективных в Российской Федерации по мощности и концентрации основного продукта. Белоозерское месторождение глауконитовых песков находится в Саратовской области (в 1,5 км. восточнее с. Белое Озеро Лысогорского района). Запасы по категориям А+В+С<sub>1</sub> составляют 5,5 млн. тонн, при содержании глауконита более 30 % [11].

Загрязнения окружающей среды фармацевтическими веществами (фармполлютантами) – одна из актуальных экологических проблем. Основной причиной попадания фармполлютантов в объекты окружающей среды являются выбросы и отходы фармацевтических предприятий, образующиеся вследствие интенсивного развития фарминдустрии. Так, фармполлютанты обнаруживаются в почве, донных отложениях, поверхностных, сточных, грунтовых водах и даже питьевой воде. Одной из основных причин загрязнения природных экосистем отходами фармацевтических предприятий является несовершенство существующих методов (хлорирование, озонирование, сорбирование углём и др.) очистки сточных вод этих предприятий от фармполлютантов, и прежде всего их дороговизной [12].

Недостаточная изученность ионообменных свойств природного глауконита Белоозёрского месторождения по отношению к фармполлютантам ограничивает возможность их применения в водоочистных системах. С этой целью проведено исследование химического состава Белоозерского глауконита, морфологии его поверхности, некоторых текстурных характеристик исследуемых фракций и их сорбционных свойств по отношению к органическому фармпрепарату – амброксолу гидрохлориду.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве сорбата применяли фармпрепарат – амброксол (4-[(2-амино-3,5-дибромфенил) метиламино]циклогексан-1-ол) в форме гидрохлорида (Производства ЗАО НПЦ "Борщяговский химико-фармацевтический завод").

Для исследования кинетики поглощения катионов амброксола в статических условиях 0,5 г

образца ионита заливали 25 мл исходного раствора сорбата концентрацией  $4,344 \cdot 10^{-4}$  моль/л, тщательно перемешивали в заданном интервале времени ( $t_{\text{сорб}}$ ) при  $T=20-25$  °С до состояния равновесия. Величина рН исходного раствора составляла 6-6.5. По истечении заданного времени отфильтровывали раствор в два этапа: сначала через фильтровальную бумагу, затем через целлюлозно-ацетатный фильтр Владипор (размер пор 0,2 мкм, диаметр 25 мм), используя оправу для фильтра и одноразовый шприц вместимостью 10 см<sup>3</sup>. Остаточную концентрацию сорбата (Сост) определяли с использованием спектрофотометра Shimadzu UV-2550 (при  $\lambda=307$  нм), используя предварительно построенный градуировочный график, из результатов трёх параллельных опытов. Относительная погрешность определения не превышала 3 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Используемый в работе глауконит представляет собой природную композицию переменного состава  $(K, H_2O)(Fe^{3+}, Al, Fe^{2+}, Mg)_2 [Si_3AlO_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ . Данный минерал относится к слоистым алюможелезوماгниевомагнетитам с пористой структурой типа 2:1 (между двумя сетками тетраэдров заключена одна сетка октаэдров). Однотипные слои разделены прослойками из катионов  $K^+$ , воды и обменных катионов). Ионы кремния в тетраэдрах способны замещаться на ионы алюминия, что приводит к возникновению положительного заряда. Благодаря слоистой структуре глауконит обладает хорошими сорбирующими и ионообменными свойствами [13].

В качестве сорбента использовали четыре различные формы, полученные на базе глауконита Белоозерского месторождения Саратовской области: глауконитовая руда, обогащённый глауконит, обогащённый мелкодисперсный глауконит (до 60 мкм) и обогащённый гранулированный [14].

Морфологические характеристики исследуемых образцов глауконита изучали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) MIRA 2 LMU (Tescan, Чехия), оснащённом системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350. Для получения изображений поверхности исследуемых образцов, пробы порошков глауконита фиксировались на специальной углеродной подложке (углеродный скотч) и, после напыления образцов золотом, производилась съёмка. В данном случае

исследуется приповерхностный слой вещества с глубиной генерации полезного сигнала 1 мкм.

По внешнему виду природный глауконит представляет собой зерна серо-зеленого цвета различные по форме и размеру. Зёрна имеют слоистую поверхность, образованную округлостями, составленными из чешуек различной формы и размеров (рис.1). Толщина чешуек варьируется от 10 до 100 нм, расстояние между чешуйками составляет 10-200 нм.

Определение химического состава образцов глауконита проводили с помощью системы энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (СЭМ), а также на рентгенофлуориметре Inpov X-5000 с кремниевым дрейф-детектором, в режиме «почва».

Результаты элементного состава различных фракций глауконита, полученные методом сканирующей электронной микроскопии представлены в таблице 1.

Из приведенных данных следует, что в составе исследуемых форм, полученных из глауко-

Таблица 1

*Элементный состав (СЭМ) исследуемых фракций глауконита: а - глауконитовая руда; б – глауконит обогащенный; в - глауконит обогащенный мелкодисперсный (до 60 мкм); г - глауконит обогащенный гранулированный*

Найденные элементы	а	б	в	г
	Содержание элемента (м, %)			
С	10.70	11.99	11.03	12.22
О	52.62	46.34	44.48	48.65
Mg	0.42	1.24	1.01	1.11
Al	2.65	4.47	4.41	3.27
Si	31.20	23.51	26.17	22.97
К	1.21	3.18	2.56	1.75
Ca	1.73	1.62	1.69	1.62
Fe	5.47	7.25	8.67	8.42

нита Белоозерского месторождения Саратовской области атомарный кислород (О) и кремний (Si) составляет наибольший процент от общего состава. Глауконитовая руда в отличие от обогащённых форм имеет меньшее содержание Mg, К, Fe, Al, и большее Si и О, что можно объяснить наличием кварца.

В таблице 2 приведены результаты элементного состава исследуемых образцов глауконита, полученных методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Таблица 2

*Элементный состав исследуемых образцов глауконита (РФА): а - глауконитовая руда; б – глауконит обогащенный; в - глауконит обогащенный мелкодисперсный (до 60 мкм); г - глауконит обогащенный гранулированный*

Найденные элементы	а	б	в	г
	Содержание элемента (м, %)			
К	1.19	1.29	1.27	1.25
Ca	0.367	0.377	0.389	0.397
Ti	$9.7 \cdot 10^{-2}$	$9.8 \cdot 10^{-2}$	$8.9 \cdot 10^{-2}$	$8.9 \cdot 10^{-2}$
V	$3.5 \cdot 10^{-3}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$	$3.6 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$
Cr	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
Mn	$6.9 \cdot 10^{-3}$	$6.0 \cdot 10^{-3}$	$6.0 \cdot 10^{-3}$	$5.7 \cdot 10^{-3}$
Fe	6.26	7.26	7.86	8.11
Co	$2.9 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$2.8 \cdot 10^{-3}$	$2.9 \cdot 10^{-3}$
Cu	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$
Zn	$3.2 \cdot 10^{-3}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$3.1 \cdot 10^{-3}$
As	$7.0 \cdot 10^{-4}$	$7.1 \cdot 10^{-4}$	$7.0 \cdot 10^{-4}$	$7.2 \cdot 10^{-4}$
Rb	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$
Sr	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
Zr	$2.1 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$
Nb	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$3.7 \cdot 10^{-2}$	$3.6 \cdot 10^{-2}$
Ba	$3.4 \cdot 10^{-2}$	$3.4 \cdot 10^{-2}$	$3.4 \cdot 10^{-2}$	$3.2 \cdot 10^{-2}$
Os	$8.3 \cdot 10^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-3}$	$8.1 \cdot 10^{-3}$	$8.6 \cdot 10^{-3}$
Hg	$0.8 \cdot 10^{-3}$	$0.8 \cdot 10^{-3}$	$0.8 \cdot 10^{-3}$	$0.8 \cdot 10^{-3}$

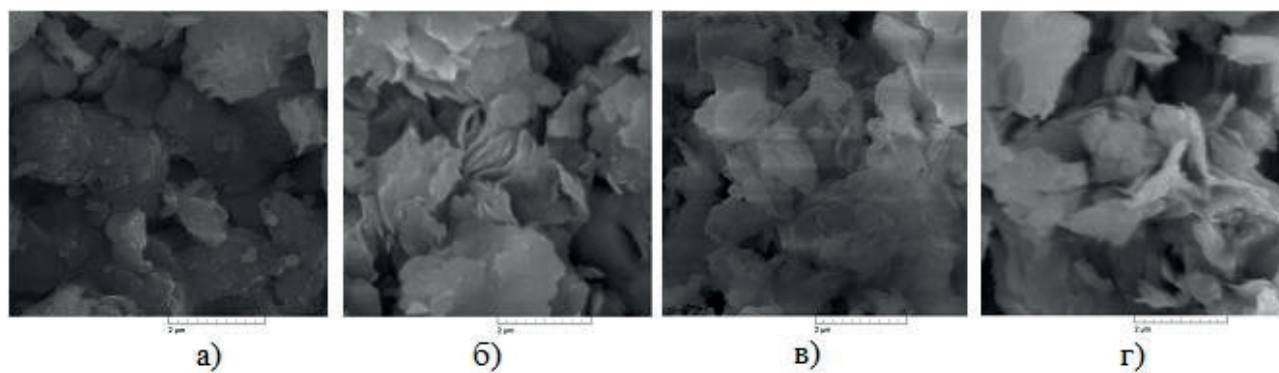


Рис. 1. Электронномикроскопические снимки поверхности а) глауконитовой руды; б) обогащенного глауконита; в) обогащённого мелкодисперсного глауконита (до 60 мкм); г) обогащённого гранулированного глауконита. Ув. 50.00 кх

Результаты рентгеноструктурного анализа различных фракций глауконитового сорбента

№ п/п	глауконитовая руда		глауконит обогащённый		глауконит обогащённый мелкодисперсный (до 60 мкм)		глауконит обогащённый гранулированный	
	$d_{hkl}$	I, %	$d_{hkl}$	I, %	$d_{hkl}$	I, %	$d_{hkl}$	I, %
1	0.667	33.15	0.674	76.35	0.659	50.81	0.663	86.01
2	0.417	45.91	0.429	84.85	0.446	57.20	0.443	70.89
3	0.331	100.00	0.331	100.00	0.331	100.00	0.330	100.00
4	0.181	16.80	0.180	50.16	0.181	34.27	0.180	48.44
5	0.166	11.26	0.166	42.71	0.166	28.03	0.166	41.51
6	0.151	7.26	0.150	39.92	0.151	24.63	0.151	41.34
7	0.137	15.83	0.137	47.00	0.137	22.07	0.137	47.72

Так следует из таблицы, содержание макроэлементов в обогащенном глауконите выше, чем в глауконитовой руде.

Рентгенофазовый анализ проводили на установке Gemini / Xcalibur (Single Crystal Diffractometer) компании Oxford Diffraction Limited, в анализе использовалась рентгеновская трубка с медным катодом.

Произведя идентификацию минерала по его кристаллоструктурным характеристикам, был получен – качественный фазовый состав, характерный для глауконита Белоозерского месторождения, а именно: аннит ( $KFe_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ ), биотит ( $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ ), эпистильбит ( $Ca_3(Si_{18}Al_6)O_{48} \cdot 16H_2O$ ), геденбергит ( $CaFeSi_2O_6$ ), алюмокалиевый оксид ( $Al_2K_2O_4$ ), санидин ( $K(-Si_3Al)O_8$ ), геденбергид ( $CaFeSi_2O_6$ ), железнопериклаз ( $(Mg,Fe)O$ ), кварц ( $SiO_2$ ).

Характеристические межплоскостные расстояния всех исследуемых фракций сорбента ( $d_{hkl}$ ) и соответствующие интенсивности брэгговских рефлексов (I,%) приведены в таблице 3.

Из таблицы видно, что значения межплоскостных расстояний всех фракций исследуемого минерала практически тождественны. Следовательно, процесс получения данных фракций не изменяет первоначальную структуру кристаллической решётки.

В качестве примера на рис. 2 приведена дифрактограмма обогащённого глауконита.

Термографический анализ исследуемых фракций глауконита проводили на дериватографе «Paulik – Paulik – Erdei – OD – 103». Анализ проводился в следующих условиях:  $m_{навески} = 200$  мг,  $V = 10$  °C/мин,  $T = 20-1000$  °C

Вопрос о количестве связанной структурно воды в минералах является одним из важнейших в кристаллохимии. По результатам термографического анализа вышеуказанных фракций глауконита было установлено наличие на термограммах нескольких небольших эндотермических эффек-

тов: в интервале температур 70-140 °C, в интервале 360-540 °C и при 573 °C. Первый эндоэффект (70-140 °C) обусловлен удалением адсорбционной влаги. Второй, менее интенсивный эндотермический эффект в среднетемпературной области (360-540 °C) может быть отнесён к выделению конституционной воды (межслоевой). Третий эндоэффект, согласно литературным данным, соответствует  $\alpha$ - $\beta$  переходу кварца при 573 °C (табл. 4).

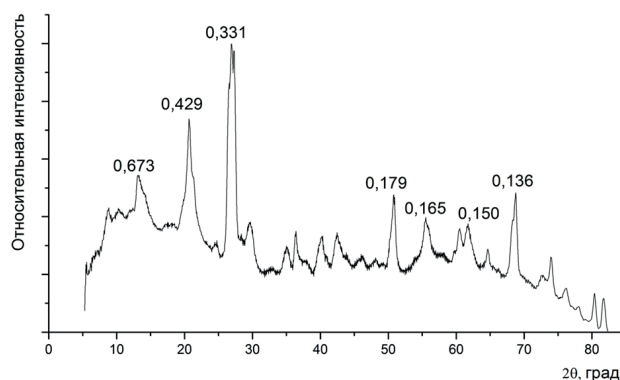


Рис. 2. Дифрактограмма обогащённого глауконита

Таблица 4.

Содержание влаги в образцах глауконита

Образец	Содержание воды, %	Убыль массы к 900 °C, %
Глауконит - руда	следы	~3.5
Глауконит обогащённый	2	6
Глауконит обогащённый мелкодисперсный (60 мкм)	2	5
Глауконит обогащённый гранулированный	1	3

Текстурные характеристики четырёх фракций алюмосиликата были изучены методом измерения удельной поверхности сорбентов (БЭТ), основанном на измерении равновесной адсорбции азота при 77 К на приборе Quantachrome nova 2200.

Полученные изотермы адсорбции-десорбции азота на исследуемых образцах по IUPAC-классификации относятся к изотермам IV типа,



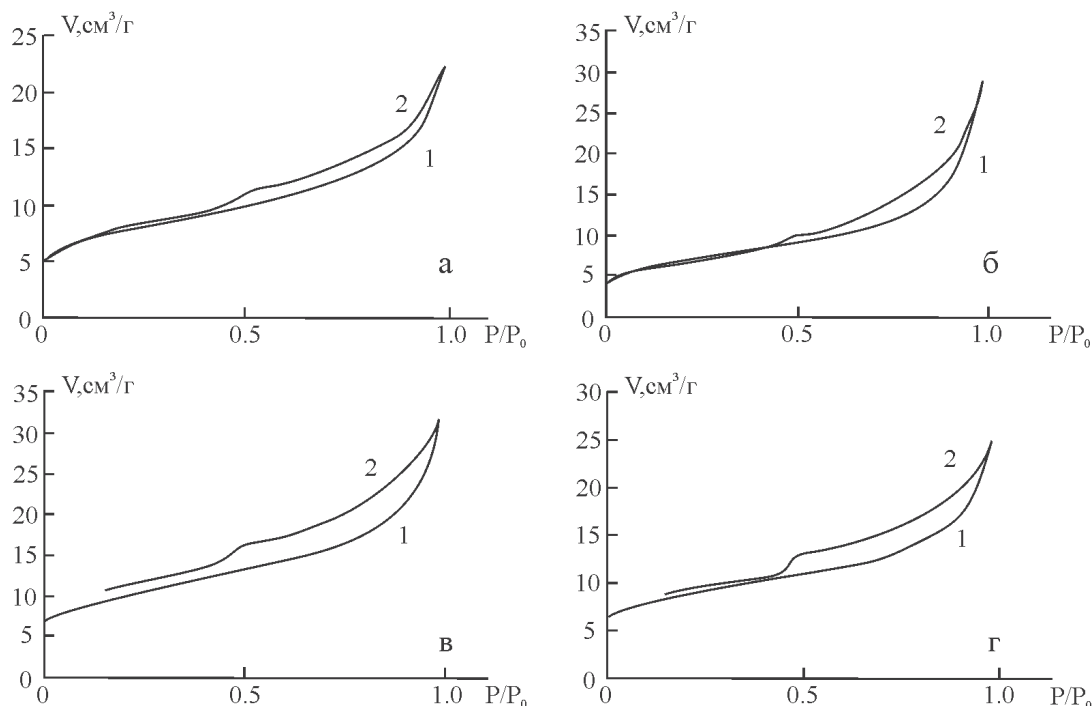


Рис. 3. Изотермы адсорбции(1)-десорбции(2) азота при 77 К на: а – глауконитовой руде; б – обогащённом глауконите; в – мелкодисперсном (60 мкм) глауконите; г – гранулированном глауконите

которые характеризуется наличием петли капиллярно-конденсационного гистерезиса, что является признаком наличия мезопор, размером от 2 до 50 нм (рис. 3).

Резкий подъём на изотерме при  $P/P_0$  близких к 1 указывает на небольшое наличие в образце крупных пор. При этом резкий подъём в области низких давлений свидетельствует о вкладе 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 [15]. Таким образом, все исследуемые образцы имеют преобладающую мезопористую структуру и небольшое число микро- и макропор.

В таблице 5 приведены значения удельной поверхности и суммарный объём пор, полученные из адсорбционной и десорбционной ветвей изотерм.

Таблица 5  
Некоторые текстурные характеристики различных фракций глауконита методом БЭТ

Образец	Удельная поверхность по БЭТ, м <sup>2</sup> /г	Суммарный объём пор ( $P/P_0=0.98$ ), см <sup>3</sup> /г
Глауконитовая руда	21.06	0.037
Обогащённый глауконит	35.04	0.048
Обогащённый мелкодисперсный (60 мкм)	47.41	0.105
Гранулированный глауконит	29.81	0.038

Данные, приведённые в таблице 5, показывают, что текстурные характеристики исходного глауконита (руды) и полученных на его основе новых фракций отличаются друг от друга. Так, мелкодисперсная фракция глауконита имеет большее значение удельной поверхности и суммарного объёма пор, по сравнению с остальными.

Сорбция веществ глауконитом – сложный процесс, описываемый несколькими механизмами, и сильно зависит от пористости сорбента, которая обусловлена зазорами между контактирующими частицами. Глауконит характеризуется наличием только внешней адсорбирующей поверхности [16].

Пример изменения оптической плотности в растворе амброксола до- и после сорбции обогащённым мелкодисперсным глауконитом представлен на рис. 4.

На основании полученных результатов рассчитывали ёмкость сорбента ( $CE$ , моль/г) через величины исходной ( $C_{исх}$ ), равновесной ( $C_{равн}$ ) концентраций амброксола и массы сорбента:  $CE = (C_{исх} - C_{равн}) \cdot V/m$ . Полученные данные использовали для построения изотерм сорбции (рис. 5).

Как видно из рис. 5, изотермы сорбции амброксола на используемых сорбентах можно отнести к изотерме Ленгмюра, выражаемой зависимостью:

$$CE = CE_{\infty} \cdot \frac{K_L \cdot C_{равн}}{K_L \cdot C_{равн} + 1},$$

где  $CE_{\infty}$  – максимальная ёмкость сорбента;

Вениг С. Б., Чернова Р. К., Сержантов В. Г., Сплюхин В. П., Переспелова М. А., Селифонова Е. И., Наумова Г. Н., Захаревич А. М., Селифонов А. А., Кожевников И. О., Щербакова Н. Н.

$C_{\text{равн}}$  – равновесная концентрация сорбата в растворе, моль/л;  $K_L$  – константа сорбции по уравнению Ленгмюра.

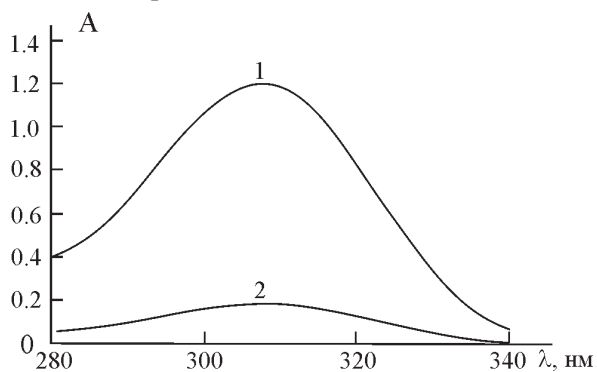


Рис. 4. Электронные спектры поглощения раствора амброкола до-(1) и после-(2) сорбции обогащённым мелкодисперсным (до 60 мкм) глауконитом в течение 120 мин

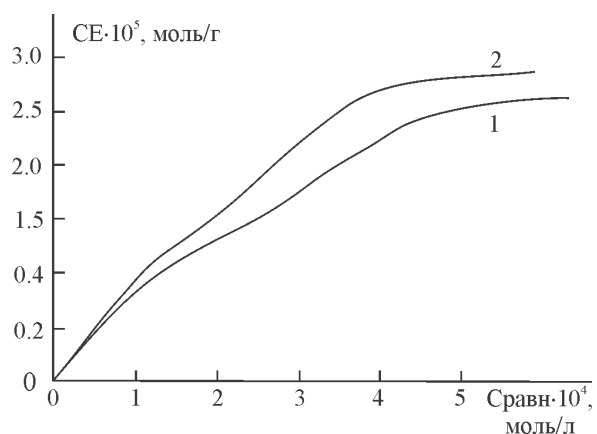


Рис. 5. Изотермы сорбции амброкола: 1 – глауконитовой рудой, 2 - обогащённым глауконитом ( $m_{\text{сорб}}=0,5$  г,  $V=25$  мл,  $pH=6,5$ ,  $t=120$  мин)

Хорошая аппроксимация уравнением Ленгмюра свидетельствует о том, что адсорбция локализована на отдельных адсорбционных центрах с образованием мономолекулярного слоя. При обработке экспериментальных данных по уравнению изотермы адсорбции Ленгмюра получены величины предельной сорбции  $SE_{\infty}$  и константы  $K_L$  для исследуемых образцов. Максимальная емкость сорбента: для глауконитовой руды -  $4,62 \cdot 10^5$  моль/г, для обогащенного глауконита  $6,71 \cdot 10^5$  моль/г, а константа сорбции по уравнению Ленгмюра составила соответственно  $21,7 \cdot 10^{-3}$  л/моль и  $17,5 \cdot 10^{-3}$  л/моль.

Глубину сорбции оценивали посредством вычисления степени извлечения ( $R, \%$ ) сорбата по формуле:  $R = C_0 - C_t / C_0 \cdot 100\%$ , где  $C_0$  - исходная концентрации амброкола ( $4,344 \cdot 10^{-4}$  моль/л),  $C_t$  - концентрация амброкола к моменту времени  $t$ . Результаты расчёта  $R (\%)$  для разных фракций глауконита в течение двух часов представлены в табл. 6.

Таблица 6

Зависимость степени извлечения ( $R, \%$ ) амброкола различными фракциями глауконита от времени: а - глауконит обогащенный гранулированный; б - глауконит обогащенный; в - глауконит обогащенный мелкодисперсный (до 60 мкм); г - глауконитовая руда

$t_{\text{сорб}}, \text{ мин}$	$R, \%$			
	а	б	в	г
1	33.0	36.8	52.3	25.1
2	33.9	47.5	77.6	27.0
3	36.2	50.3	79.8	31.1
4	39.2	55.1	81.1	32.2
5	43.9	61.1	81.9	33.2
10	47.4	63.9	82.8	34.4
15	48.8	65.0	83.3	37.3
20	51.3	66.3	82.5	39.1
25	53.1	67.0	83.8	40.2
30	55.1	68.3	83.9	44.3
40	61.1	70.5	84.1	50.0
60	63.9	73.4	85.9	54.8
90	67.3	74.6	88.9	64.8
120	67.6	74.9	89.1	65.2

Как видно из представленных результатов (табл. 6), исследуемый ионит, представленный четырьмя фракциями, обладает достаточно хорошей сорбционной способностью по отношению к органическому катиону амброкола. Количество поглощённого катиона для каждой фракций глауконита увеличивается с течением времени, при этом при достижении времени сорбции двух часов степень извлечения изменяется значительно медленнее, что связано с возникновением диффузионных затруднений в прохождении катионов амброкола через слой продукта, формирующийся на поверхности сорбента. Полученные данные свидетельствуют о большей эффективности сорбции амброкола мелкодисперсным (до 60 мкм) глауконитовым сорбентом, поскольку его сорбционная площадь поверхности, превосходит площадь поверхности других фракций. Так, для мелкодисперсного глауконита за 2 часа непрерывной сорбции степень извлечения составила около 90 % от начальной концентрации амброкола. Наименьшая сорбционная способность выявлена для глауконитовой руды, поскольку в составе этой формы присутствует больше кварца и контакт сорбата с эффективными центрами сорбента уменьшается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследуемые фракции глауконита обеспечивают достаточно полную сорбцию ионов амброкола в водных растворах исходной концентрации равной  $4,344 \cdot 10^{-4}$  моль/л, при селективности, изменяющейся в ряду глауконитовых форм: обога-

щенный мелкодисперсный (до 60 мкм) > обогащенный > обогащенный гранулированный > руда.

2. Процесс адсорбции описывается уравнением Ленгмюра, что свидетельствует о мономолекулярном характере адсорбции на активных центрах поверхности.

3. Проведённые исследования открывают перспективы использования глауконита, в качестве фильтрующей загрузки, при очистке сточных вод фармацевтических предприятий от таких веществ, как амброксола гидрохлорид.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетехтин А. Г. Курс минералогии / А.Г. Бетехтин. – Москва: Государственное научно-техническое изд-во литературы по геологии и охране недр, 1956. — 451 с.

2. Адсорбционная способность глауконита Бондарского района Тамбовской области / Цыганкова Л.Е. [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2010. — Т. 10, №1. — С. 121-126.

3. Вигдорович В.И. Извлечение фенола из водных растворов глауконитом / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, А.И. Акулов // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2010. — Т. 10, № 4. — С. 500-505.

4. Вигдорович В.И. Сорбция фенола глауконитом ГБРТО из его разбавленных растворов / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, А.И. Акулов // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2011. — Т. 11, №2. — С. 673-678.

5. Извлечение ионов меди (II) и фенола в проточном растворе глауконитом Бондарского района Тамбовской области / В.И. Вигдорович [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2010. — Т. 10, №6. — С. 29-32.

6. Влияние pH на сорбцию глауконитом ГБРТО ионов железа (II), меди (II) и свинца (II) из разбавленных растворов / В.И. Вигдорович [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2011. — Т. 11, №6. — С. 913-921.

7. Эффективность и селективность сорбции катионов Mg(II) и Ca(II) концентратом глауко-

нита из хлоридных растворов и сред, содержащих посторонние электролиты / В.И. Вигдорович [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2014. Т. 14, №4. — С. 654-662.

8. Вигдорович В.И. Закономерности сорбции Ca(II) и Mg(II) концентратом глауконита ГБРТО / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, И.В. Морщина // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2014. — Т. 14, №2. — С. 286-295.

9. Сорбционная очистка радиоактивно загрязненных вод фильтрующими материалами на основе гранулированного глауконита / А.С. Кутергин [и др.] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2010. — № 3. — С. 75-84.

10. Григорьева Е.А. Особенности структуры и сорбционные свойства глауконита Каринского месторождения / Е.А. Григорьева, Е.Г. Антошкина // Молодой учёный. — 2012. — Т. 40, № 5. — С. 123.

11. Левченко М.Л. Состояние сырьевой базы и возможности использования глауконитов в России / М.Л. Левченко // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2008. — Вып. 2. — С. 23-25.

12. Мухатдинова А.Н. Влияние условий культивирования *Rhodokokus* на биодеструкцию дротаверина гидрохлорида – фармацевтического экотоксиканта / А.Н.Мухатдинова // Вест. Пермского ун-та. Серия: Микробиология. — 2014. — № 2. — С. 254-257.

13. Тарасевич Ю.И. Строение и химия поверхности слоистых силикатов / Ю.И. Тарасевич. — Киев: Наука, 1988. — 248 с.

14. Сержантов В.Г. Пат. 2462305 РФ. Способ получения гранулированного сорбента / В.Г. Сержантов. Заявл. 04.01.2011. Опубл. 27.09.2012

15. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. — Москва: Мир, 1984. — 306 с.

16. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды / Ю.И. Тарасевич. — Киев: Наукова думка, 1981. — 206 с.

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского*

*Вениг С. Б., д.ф.-м. наук, профессор, зав. кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством*

*E-mail: sergey.venig@mail.ru*

*Saratov national research state university of N. G. Chernyshevsky*

*Venig S. B., professor, doctor of physical mathematical sciences, department of materials science, technology and quality management*

*E-mail: sergey.venig@mail.ru*

Вениг С. Б., Чернова Р. К., Сержантов В. Г., Сплюхин В. П., Переспелова М. А., Селифонова Е. И.,  
Наумова Г. Н., Захаревич А. М., Селифонов А. А., Кожевников И. О., Щербакова Н. Н.

Чернова Р. К., д.х.н., профессор кафедры аналитической химии и химической экологии  
E-mail: chernov-ia@yandex.ru

Chernova R. K., Ph.D., Full Professor, dept. of analytical chemistry and chemical ecology  
E-mail: chernov-ia@yandex.ru

Сержантов В. Г., к.ф.-м.н., заведующий базовой кафедрой сорбционных материалов  
E-mail: serzhantov55@mail.ru

Serzhantov V. G., Ph.D., head of sorbtionmaterials dept.  
E-mail: serzhantov55@mail.ru

Сплюхин В. П., ассистент базовой кафедры сорбционных материалов  
E-mail: spluhinvp@mail.ru

Splyukhin V. P., Assistant Professor, dept. of sorbtionmaterials  
E-mail: spluhinvp@mail.ru

Переспелова М. А., студентка кафедры аналитической химии и химической экологии  
E-mail: marina.aleks.p@bk.ru

Perespelova M. A., student, dept. of analytical chemistry and chemical ecology  
E-mail: marina.aleks.p@bk.ru

Селифонова Е. И., к.х.н., старший научный сотрудник  
E-mail: selif-ei@yandex.ru  
Тел. 8-909-331-22-10

Selifonova E. I., Ph.D., Senior researcher  
E-mail: selif-ei@yandex.ru  
Ph.: 8-909-331-22-10

Наумова Г. Н., магистрант кафедры аналитической химии и химической экологии  
E-mail: naumova.galinka.93@mail.ru

Naumova G. N., student, dept. of analytical chemistry and chemical ecology  
E-mail: naumova.galinka.93@mail.ru

Захаревич А. М., к.ф.-м. наук, заведующий лабораторией диагностики наноматериалов и структур  
E-mail: zaharevicham@yandex.ru

Zaharevich A. M., Ph.D., head of diagnostics of nanomaterials and structures laboratory  
E-mail: zaharevicham@yandex.ru

Селифонов А. А., студент химического факультета  
E-mail: selif-ei@yandex.ru

Selifonov A. A., student of chemical faculty  
E-mail: selif-ei@yandex.ru

Кожевников И. О., инженер отдела наномеханики  
E-mail: kozhevnikov\_io@mail.ru

Kozhevnikov I. O., engineer of nanomechanics  
E-mail: kozhevnikov\_io@mail.ru

Щербакова Н. Н., канд. техн. наук, доцент базовой кафедры сорбционных материалов  
E-mail: selif-ei@yandex.ru

Shcherbakova N. N., Ph.D., Associate professor, dept. of sorbtionmaterials  
E-mail: selif-ei@yandex.ru