

Убаськина Ю.А., канд. хим. наук, н. с.  
ФГУП «ИРЕА», г. Москва  
Коростелева Ю.А., канд. хим. наук, в.н.с.  
ООО НТЦ «СМИТ», г. Ульяновск

## АДСОРБЦИЯ КАТИОНОВ И АНИОНОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДИАТОМИТА

juliabasjo@gmail.com

Данная работа посвящена исследованию адсорбции катионов и анионов органических соединений на поверхности диатомита для использования в тонкой очистке сточных вод от растворимых органических соединений. Установлено, что величина адсорбции катионов и анионов органических соединений на поверхности диатомита зависит от поверхностной плотности заряда диатомита, которая имеет положительное значение в диапазоне рН 1-5 и отрицательное значение в диапазоне рН 6-14, проходя через ноль в изоэлектрической точке. Показано, что адсорбция анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита увеличивается с понижением значения рН раствора. Рассмотрено значение протонирования кремнезема диатомита при адсорбции анионов органических соединений из растворов. Обнаружено, что на величину адсорбции анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита могут влиять стерические эффекты. Установлено, что адсорбция катионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита увеличивается с повышением значения рН раствора. Отмечено, что величина адсорбции катионов органических соединений определяется, в основном, количеством глинистой фракции в диатомите.

**Ключевые слова:** диатомит, адсорбция, катионы органических соединений, анионы органических соединений, тонкая очистка, сточные воды.

**Введение.** Проблемы загрязнения пресной воды, предназначенной для использования в промышленных и бытовых целях, увеличиваются с каждым годом. Это связано с тем, что используемые в промышленности и быту препараты производятся, в основном, с применением стойких к разложению, растворимых в воде органических соединений. Данные органические соединения не задерживаются механическими и биологическими фильтрами очистных сооружений и попадают в водоемы, накапливаясь в них. Решением этой проблемы является применение на очистных сооружениях фильтров тонкой очистки сточных вод, с использованием экологически безопасных, дешевых, но эффективных сорбентов. Ранее, в работе [1], сообщалось, что к таким сорбентам относится диатомит - широко распространенная опал-кристобалитовая порода, которая обладает большой удельной поверхностью (в среднем, около 32 м<sup>2</sup>/г), состоящая в среднем на 70 масс. % из аморфного кремнезема, содержащая не более 7 масс.% кварца [2], глинистую фракцию (не более 35 масс. %) [1]. В работе [1] также отмечено значительное влияние глинистой фракции диатомита на его адсорбционную способность на примере адсорбции из раствора диатомитом красителя катионного типа - метиленового синего. Между тем, используемые в различных препаратах растворимые орга-

нические соединения могут быть как катионного, так и анионного типа.

В связи с этим, целью данной работы стало исследование особенностей адсорбции катионов и анионов органических соединений из раствора на поверхности диатомита для использования его в качестве сорбента при тонкой очистке сточных вод.

**Методология.** В качестве объекта исследования использовали карьерный диатомит Инзенского месторождения Ульяновской области. Адсорбцию метиленового синего, эозина Н, метилового оранжевого из раствора на диатомите определяли по методике, приведенной в стандарте [3]. Адсорбцию уксусной кислоты из раствора на диатомите определяли по методике, приведенной в работе [4]. Изменения рН растворов при добавлении их к диатомиту определяли по методике, приведенной в работе [5]. Для характеристики исследуемых корреляционных зависимостей рассчитывали коэффициент Пирсона и определяли уровень значимости, используя программу Microsoft Excel и таблицы критических значений коэффициента корреляции Пирсона (r) для различных уровней значимости и различного числа степеней свободы (размеров выборки) [6]. При регрессионном анализе полученных зависимостей для определения функции регрессии, ее коэффициента детерминации R<sup>2</sup> и

стандартного отклонения  $s$  использовали программу Advanced Grapher 2.2.

**Основная часть.** В работах [7-10] показано, что рН раствора, содержащего адсорбтив, имеет определяющее значение для адсорбции катионов и анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита. Поверхность диатомита амфотерна и полярна при различных значениях рН раствора, кроме изоэлектрической точки (рН 5,4 [10], рН 5,5-5,8 [11], рН 4 [7]), причем знак заряда поверхности диатомита изменяется, в зависимости от рН раствора. В работе [5] имеются данные об изменении рН

раствора при добавлении его к диатомиту практически во всем диапазоне рН (от 1,02 до 10,40).

На основании литературных данных работы [5], а также собственных данных об изменении величины рН растворов при добавлении их к диатомиту, а также данных по удельной поверхности диатомита, приведенных в работе [12], была рассчитана величина поверхностной плотности заряда диатомита в зависимости от начального рН раствора. Тенденция изменения поверхностной плотности заряда диатомита от начального рН раствора приведена на рис. 1.

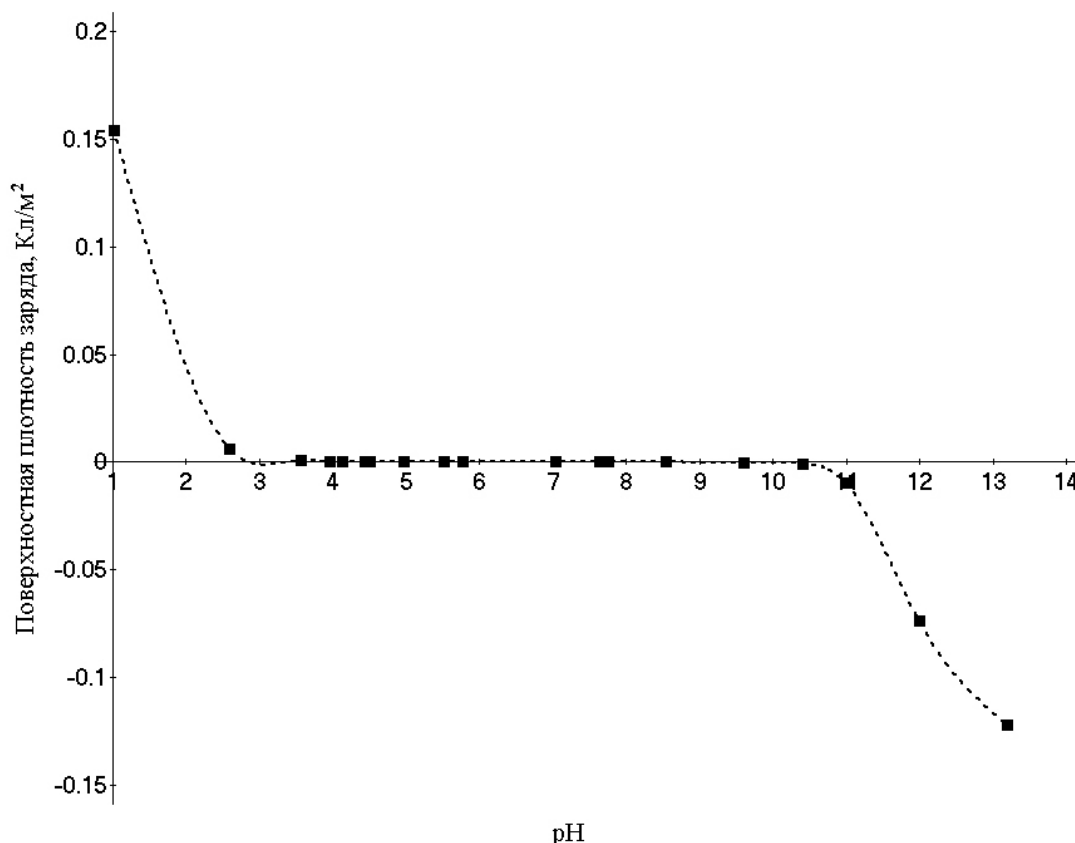


Рис. 1. Тенденция изменения поверхностной плотности заряда диатомита от начального рН раствора

Анализ данных, приведенных на рис. 1, показывает, что заряд поверхности диатомита меняется: до изоэлектрической точки поверхность заряжена положительно, после изоэлектрической точки – отрицательно. Полученные данные, приведенные на рис. 1, хорошо коррелируют с данными по изменению величины поверхностной плотности заряда диатомита в зависимости от начального рН раствора, приведенными в работе [10] ( $r = 0,85 \pm 0,02$ ,  $p < 0,001$ ,  $n=64$ ).

На основании полученных данных, было выдвинуто предположение, что при низких значениях рН, когда заряд поверхности диатомита положителен, адсорбция анионов органических соединений из растворов будет максимальна, а при изменении рН выше значения изоэлектриче-

ской точки будет увеличиваться адсорбция катионов органических соединений из растворов, так как поверхность диатомита будет заряжена отрицательно.

Было исследовано изменение величины адсорбции анионов органических соединений в зависимости от рН раствора. рН раствора устанавливали буферами: 1,65, 4,01, 6,86 и 9,18. Было отмечено небольшое (менее 1,5 %) изменение рН буферных растворов после добавления их к диатомиту, коррелирующее с изменениями рН, приведенными в работе [5] ( $r = 0,84 \pm 0,19$ ,  $p < 0,001$ ,  $n=16$ ).

В качестве анионных органических соединений использовали ксантеновый краситель эозин Н и синтетический органический

краситель из группы азокрасителей метиловый оранжевый.

Эозин Н не растворяется при низких значениях рН, поэтому исследование величины ад-

сорбции эозина Н на поверхности диатомита вели в диапазоне 4,01-9,18. Данные по адсорбции эозина на поверхности диатомита приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Адсорбция эозина Н из раствора на поверхности диатомита при различных значениях рН растворов, установленных буфером**

рН буферного раствора	Адсорбция Г, мг эозина Н /г карьерного диатомита					Удельная поверхность диатомита по эозину Н, м <sup>2</sup> /г	N слоев	
	$\bar{x}$	$\pm\Delta$	s	Лимиты				n
				min	max			
4,01	6,8	0,8	1,1	6,0	7,5	2	4,77	0,15
6,86	1,0	0,1	0,1	0,9	1,1	2	0,69	0,02
9,18	0,7	0,1	0,1	0,6	0,8	2	0,48	0,01

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что при увеличении значения рН раствора происходит снижение величины адсорбции эозина Н из раствора на поверхности диатомита. Зависимость адсорбции Г эозина Н из раствора на поверхности диатомита от рН буферного раствора описывается степенной функцией с  $R^2=0,96$ ,  $s=0,52$ :

$$G=334 \times pH^{-2,9} \quad (1),$$

Метиловый оранжевый растворим в воде во всем диапазоне рН, поэтому исследование величины адсорбции метилового оранжевого из раствора на поверхности диатомита вели в диапазоне 1,65-9,18. Данные по адсорбции метилового оранжевого из раствора на поверхности диатомита приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Адсорбция метилового оранжевого из раствора на поверхности диатомита при различных значениях рН растворов, установленных буфером**

рН буферного раствора	Адсорбция Г, мг метилового оранжевого/г карьерного диатомита					Удельная поверхность диатомита по метилово-оранжевому, м <sup>2</sup> /г	N слоев	
	$\bar{x}$	$\pm\Delta$	s	Лимиты				n
				min	max			
1,65	5,9	0,08	0,1	5,9	6,0	2	10,2	0,32
4,01	5,3	0,15	0,2	5,1	5,4	2	9,0	0,28
6,86	1,3	0,08	0,1	1,2	1,4	2	2,2	0,07
9,18	0,5	0,04	0,1	0,5	0,6	2	0,9	0,03

Анализ данных, приведенных в табл. 2, как и в случае с адсорбцией эозина Н из раствора, показывает, что с увеличением значения рН раствора происходит снижение величины адсорбции метилового оранжевого на поверхности диатомита. Зависимость адсорбции Г метилового оранжевого из раствора на поверхности диатомита от рН буферного раствора описывается экспоненциальной функцией с  $R^2=0,93$ ,  $s=1,84$ :

$$G=16,8 \times e^{-0,35pH} \quad (2),$$

Таким образом, предположение о том, что при низких значениях рН, когда заряд поверхности диатомита положителен, адсорбция анионов органических соединений из растворов будет максимальна, подтверждается полученными экспериментальными данными.

В работе [10] отмечено, что наиболее вероятный механизм адсорбции из растворов на по-

верхности диатомита в диапазоне рН 1-5 – протонирование поверхностных функциональных групп. Ранее, в работе [1], было показано, что компонентами диатомита, определяющими его адсорбционную способность, является глинистая составляющая диатомита. Между тем, в обзоре, посвященном чувствительности кислотно-основных свойств глин к способам получения и измерения [13], отмечено, что по данным многочисленных исследований, дзета-потенциал поверхности монтмориллонитов и других глин с трехслойным пакетом (2:1) отрицателен в широкой области рН от 2 до 12 (его величина колеблется от -30 до -50 мВ). Авторами обзора указано также, что это не зависит от ионной силы раствора и что изоэлектрической точки у глин не наблюдается, что отмечено авторами работ [14–19].

Растворение кремнезема в диапазоне рН раствора 1-5 незначительно [20], поэтому растворимые формы кремнезема, обладающие амфотерными свойствами, не могут оказывать существенного влияния на связывание протонов из раствора.

Таким образом, можно предположить, что определяющую роль при адсорбции анионов органических соединений из раствора на поверхности диатомита в диапазоне рН 1-5 играет кремнезем диатомита. Можно также предположить, что относительная невысокая величина адсорбции анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита связана с присутствием глинистой составляющей в диатомите. Как уже было отмечено, поверхностная плотность заряда глины отрицательна в диапазоне рН 2-12 [13], поэтому глинистая фракция диатомита может препятствовать адсорбции анионов органических соединений на протонированной поверхности кремнезема диатомита.

Вероятно, адсорбция анионов органических соединений из растворов происходит в две стадии: сначала происходит протонирование поверхности за счет протонов из растворов с рН 1-5, затем к положительно заряженной поверхности притягиваются анионы органических соединений. Для подтверждения этого предположения была рассмотрена зависимость между изменением поверхностной плотности заряда диатомита от рН растворов при добавлении их к диатомиту и адсорбцией из раствора анионов органических соединений на поверхности диатомита при тех же значениях рН.

Было обнаружено, что с понижением поверхностной плотности заряда диатомита адсорбция анионов органических соединений на поверхности диатомита снижается (для эозина Н:  $r=0,99\pm 0,03$ ,  $p<0,001$ ,  $n=9$ , для метилового оранжевого:  $r=0,65\pm 0,03$ ,  $0,02 < p<0,05$ ,  $n=12$ ). Это позволяет сделать вывод, что в результате протонирования поверхности диатомита увеличивается положительный заряд поверхности диатомита, а, следовательно, и величина адсорбции анионов органических соединений.

Для оценки степени участия поверхности диатомита в адсорбции анионов органических соединений в кислой среде (при рН < 5) необходимо было выбрать органическое соединение, содержащее одновременно протон и органический анион. В качестве такого соединения была выбрана уксусная кислота. Была исследована адсорбция растворов уксусной кислоты различных концентраций на поверхности диатомита. Было обнаружено, что предельная адсорбция равна 15,1 мг уксусной кислоты/г диатомита. Это соответствует  $6,49\cdot 10^{-5}$  ммоль/м<sup>2</sup> Н<sup>+</sup>, при

этом рН раствора уксусной кислоты меняется от 2,966 до 2,983. Однако, при таком начальном значении рН (2,966) поверхность диатомита способна адсорбировать  $1,69\cdot 10^{-4}$  ммоль/м<sup>2</sup> Н<sup>+</sup> (по данным работы [5]), что в 2,56 раз больше значения предельной адсорбции Н<sup>+</sup> уксусной кислоты.

Было выдвинуто предположение, что на величину предельной адсорбции уксусной кислоты из раствора на поверхности диатомита, возможно, оказывают влияние стерические затруднения. В подтверждение этой гипотезы было сделано сравнение удельной поверхности диатомита по азоту (в среднем, около 32 м<sup>2</sup>) и удельной поверхности диатомита по уксусной кислоте, рассчитанной для мономолекулярного слоя. Удельную поверхность диатомита  $S_{уд}$  по уксусной кислоте рассчитывали по формуле, приведенной в работе [21]:

$$S_{уд} = \Gamma_{\infty} \times N_a \times w_0 \quad (3)$$

где  $\Gamma_{\infty}$  – предельная адсорбция, ммоль/г,  $N_a$  – число Авогадро,  $w_0$  – площадь молекулы (по данным сервиса [22]).

Рассчитанная удельная поверхность диатомита  $S_{уд}$  по уксусной кислоте, отнесенная к мономолекулярному слою, оказалась равной 56,51 м<sup>2</sup>/г. Число слоев уксусной кислоты толщиной в одну молекулу на поверхности диатомита может быть рассчитано как отношение удельной поверхности диатомита по уксусной кислоте к удельной поверхности диатомита по азоту. Тогда число слоев будет равно 1,77, или ~2 слоя. То есть, при величине предельной адсорбции уксусной кислоты на диатомите, равной 15,1 мг уксусной кислоты/г диатомита, уксусная кислота образует два слоя в одну молекулу на поверхности диатомита, что препятствует, вероятно, дальнейшему протонированию поверхности кремнезема диатомита и адсорбции уксусной кислоты из раствора. В связи с этим, количество протонов, адсорбированных поверхностью диатомита, меньше, чем это возможно при данном значении рН (в 2,56 раза, как было указано выше), а, следовательно, меньше и величина адсорбции уксусной кислоты.

Таким образом, величину адсорбции уксусной кислоты лимитируют как электрические явления на поверхности диатомита, так и стерические эффекты.

Была рассчитана также удельная поверхность диатомита по эозину Н и метиловому оранжевому, а также количество слоев в одну молекулу для каждого из данных веществ. Расчетные данные приведены в табл. 1 и 2. Анализ приведенных данных по удельной поверхности диатомита по эозину Н и метиловому оранже-

вому, а также по количеству слоев позволяет сделать вывод о том, что на поверхности диатомита нет стерических затруднений для адсорбции указанных анионов органических веществ. Достаточно низкая величина их адсорбции на поверхности диатомита может быть обусловлена использованием буферных растворов для получения определенного значения pH. Вероятно, буферные растворы не способствуют протонированию поверхности диатомита, а, значит, и адсорбции анионов органических соединений. По-видимому, для протонирования поверхности кремнезема диатомита и для увеличения величины адсорбции анионов органических соеди-

нений целесообразнее использовать растворы сильных кислот.

В отличие от адсорбции анионов органических соединений, адсорбция на диатомите катионов органических соединений достаточно хорошо изучена [1, 7, 8, 23, 24].

Было исследовано изменение величины адсорбции катионов органических соединений от pH буферных растворов на примере основного тиазинового красителя – метиленового синего. В табл. 3 приведены данные об адсорбции метиленового синего из раствора на поверхности диатомита при различных значениях pH.

Таблица 3

**Адсорбция метиленового синего из раствора на поверхности диатомита при различных значениях pH растворов, установленных буфером**

pH буферного раствора	Адсорбция Г, мг метиленового синего /г карьерного диатомита					Удельная поверхность диатомита по метиленовому синему, м <sup>2</sup> /г	N слоев	
	$\bar{x}$	$\pm\Delta$	s	Лимиты				n
				min	max			
1,65	31,0	3,3	4,6	27,0	36,0	3	25,61	0,80
4,01	33,9	1,7	2,0	31,5	36,0	4	28,01	0,88
6,86	39,4	1,3	1,9	42,0	37,5	4	32,53	1,02
9,18	49,0	3,3	4,6	45,0	54,0	3	40,49	1,27

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что с увеличением значения pH раствора происходит увеличение величины адсорбции метиленового синего из раствора на поверхности диатомита. Было найдено, что с повышением поверхностной плотности заряда диатомита адсорбция метиленового синего на поверхности диатомита возрастает ( $r=-0,51\pm 0,22$ ,  $0,02 < p < 0,05$ ,  $n=16$ ).

Зависимость адсорбции Г метиленового синего из раствора на поверхности диатомита от pH буферного раствора описывается степенной функцией с  $R^2=0,69$ ,  $s=4,11$ :

$$G=25,8 \times pH^{0,24} (4).$$

Анализ графика функции (4) показывает, что при определенном pH наступает насыщение диатомита метиленовым синим, соответствующее предельной адсорбции метиленового синего на диатомите.

Предлагаемый в работах [8, 10, 23] очевидный механизм адсорбции метиленового синего в щелочной среде как химическое взаимодействие катиона органических соединений с гидроксильными группами кремнезема на поверхности диатомита не подтверждается полученными ранее данными, изложенными в работе [1]. Как показано в работе [1], адсорбция положительно заряженных органических ионов на диатомите определяется количеством в нем глинистых минералов ( $r = 0,85 \pm 0,02$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ) и ок-

сидов щелочных и щелочноземельных металлов ( $r = 0,85 \pm 0,01$ ,  $p < 0,001$ ,  $n = 20$ ).

Была рассчитана удельная поверхность диатомита по метиленовому синему, а также количество слоев толщиной в одну молекулу метиленового синего на поверхности диатомита. Расчетные данные приведены в табл. 3. Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод о том, что на поверхности диатомита с повышением pH раствора увеличивается количество слоев толщиной в одну молекулу метиленового синего, что согласуется с данными работ [25, 26]. Это может быть связано с тем, что, как сообщается в работе [25], при сорбции азота (в вакууме) пакеты монтмориллонита (и других глин с трехслойным пакетом (2:1) из глинистой фракции диатомита) скорее всего, агрегированы, а в водной среде при их набухании и последующей деагрегации увеличение доступной поверхности весьма вероятно.

Таким образом, предположение о том, что при высоких значениях pH раствора, когда заряд поверхности диатомита отрицателен, адсорбция катионов органических соединений из растворов будет максимальна, подтверждается полученными экспериментальными и расчетными данными.

**Выводы.** В результате исследования процесса адсорбции катионов и анионов органических соединений из растворов на поверхности

диатомита, обнаружено, что величина адсорбции катионов и анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита зависит от поверхностной плотности заряда диатомита. Поверхностная плотность заряда диатомита имеет положительное значение в диапазоне рН 1-5 и отрицательное значение в диапазоне рН 6-14, проходя через ноль в изоэлектрической точке. Адсорбция анионов органических соединений из растворов увеличивается с понижением значения рН, так как положительный заряд поверхности при этом возрастает. Определяющую роль при адсорбции анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита в диапазоне рН 1-5 играет протонируемый кремнезем диатомита, поверхность которого приобретает при протонировании положительный заряд. Обнаружено, что на величину адсорбции анионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита могут влиять стерические эффекты. Выявлено, что для протонирования поверхности кремнезема диатомита и для повышения величины адсорбции анионов органических соединений на поверхности диатомита целесообразно использовать растворы сильных кислот. Установлено, что адсорбция катионов органических соединений из растворов на поверхности диатомита увеличивается с повышением значения рН, так как отрицательный заряд поверхности диатомита при этом возрастает. Отмечено, что величина адсорбции катионов органических соединений определяется, в основном, количеством глинистой фракции в диатомите, поверхность которой имеет отрицательный заряд в диапазоне рН 2-12.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Убаськина Ю.А., Фетюхина Е.Г., Коростелева Ю.А. Исследование адсорбционной способности диатомита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 140–143.
2. Убаськина Ю.А., Арсентьев И.В., Фетюхина Е.Г., Коростелева Ю.А., Адаев Т.В. Исследование минералогического состава диатомита для его безопасной добычи и применения в промышленности // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 128-132.
3. ГОСТ 30036.2 – 93. Каолин обогащенный. Метод определения показателя адсорбции. М.: Изд. стандартов, 1994. 7 с.
4. Коллоидная химия. Методические указания. / Сост.: В.Т. Письменко, Е.Н.Калюкова. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 72 с.

5. Лисин С.А. Модифицирование биогенного кремнезема и пути его использования : дис... канд. хим. наук. Ульяновск, 2004. С. 98-99.
6. Fisher R.A., Frank Y. Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, 6th ed. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1963. 146 p.
7. Shawabkeh R. A., Tutunji M. F. Experimental study and modeling of basic dye sorption by diatomaceous clay // Applied Clay Science. 2003. V. 24. №. 1. pp. 111–120.
8. Al-Ghouti M. A., Khraisheh M. A., Ahmad M. N., Allen S. Adsorption behaviour of methylene blue onto Jordanian diatomite: a kinetic study // Journal of hazardous materials. 2009. V. 165. №. 1. pp. 589–598.
9. Badii K., Ardejani F. D., Saberi M. A., Li-maee N. Y., Shafaei S. Z. Adsorption of Acid blue 25 dye on diatomite in aqueous solutions // Indian Journal of Chemical Technology. 2010. V. 17. №. 1. pp. 7–16.
10. Al-Ghouti M. A., Khraisheh M. A. M., Allen S. J., Ahmad M. N. The removal of dyes from textile wastewater: a study of the physical characteristics and adsorption mechanisms of diatomaceous earth // Journal of Environmental Management. 2003. V. 69. №. 3. pp. 229–238.
11. Лисин С. А. Модифицирование биогенного кремнезема и пути его использования: Автореф. дис. канд. хим. наук. Казань, 2004. С.7
12. Убаськина Ю.А. Изучение компонентов воды в диатомите и их влияние на адсорбционные свойства породы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 143–147
13. Duc M., Gaboriaud F., Thomas F. Sensitivity of the acid–base properties of clays to the methods of preparation and measurement: 1. Literature review // Journal of colloid and interface science. 2005. V. 289. № 1. P. 139–147.
14. Avena M. J., De Pauli C. P. Proton adsorption and electrokinetics of an Argentinean montmorillonite // Journal of Colloid and Interface Science. 1998. V. 202. № 1. pp. 195–204.
15. Sondi I., Bišćan J., Pravdić V. Electrokinetics of pure clay minerals revisited // Journal of Colloid and Interface Science. 1996. V. 178. № 2. pp. 514–522.
16. Delgado A., Gonzalez-Caballero F., Bruque J. M. On the zeta potential and surface charge density of montmorillonite in aqueous electrolyte solutions // Journal of colloid and interface science. 1986. V. 113. № 1. pp. 203–211.
17. Duran J. D. G. et al. Rheological and electrokinetic properties of sodium montmorillonite suspensions: I. Rheological properties and interpar-

ticle energy of interaction // Journal of Colloid and Interface Science. 2000. V. 229. № 1. pp. 107–117.

18. Miller S. E., Low P. F. Characterization of the electrical double layer of montmorillonite // Langmuir. 1990. V. 6. № 3. pp. 572–578.

19. Pashley R. M. Electromobility of mica particles dispersed in aqueous solutions // Clays and Clay Minerals. 1985. V. 33. № 3. pp. 193–199.

20. Айлер Р. Химия кремнезема: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. Ч. 1. С. 65–73.

21. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии / Под ред. Ю. Г. Фролова и А. С. Гродского. М.: Химия, 1986. С. 38.

22. PubChem / National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. (дата обращения: 15.09.16.)

23. Al-Ghouti M. A., Khraisheh M. A. M., Ahmad M. N., Allen S. J. Thermodynamic behav-

our and the effect of temperature on the removal of dyes from aqueous solution using modified diatomite: a kinetic study // Journal of Colloid and Interface Science. 2005. V. 287. № 1. pp. 6–13.

24. Al-Qodah Z., Lafi W. K., Al-Anber Z., Al-Shannag M., Harahsheh A. Adsorption of methylene blue by acid and heat treated diatomaceous silica // Desalination. 2007. V. 217. № 1. pp. 212–224.

25. Чулков А. Н., Дейнека В. И., Дейнека Л. А. Особенности оценки ионообменных характеристик глин // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. 2011. Т. 16. № 15. С. 88–94.

26. Rytwo G., Nir S., Margulies L. Interactions of monovalent organic cations with montmorillonite: adsorption studies and model calculations // Soil Science Society of America Journal. 1995. V. 59. № 2. pp. 554–564.

---

**Ubaskina J.A, Korostelyova J.A.**

#### **ADSORPTION OF ORGANIC CATIONS AND ANIONS ON DIATOMITE SURFACE**

*This work is devoted to the research of adsorption of organic cations and anions on diatomite surface for using in fine purification of wastewater to remove soluble organic compounds. It has been found that the adsorption value of organic cations and anions on the diatomite surface depends on the surface charge density of diatomite. The surface charge density of diatomite has positive value in the range of pH 1-5 and negative value in the range of pH 6-14 passing through zero at the isoelectric point. It has been showed that the adsorption of organic anions on diatomite surface from solutions increases while the solution pH-value decreases. The protonation value of silica of diatomite in the adsorption of organic anions from solutions has been researched. It has been found that the adsorption value of organic anions on diatomite surface from solutions can depend on steric effects. It has been found that the adsorption of organic cations on diatomite surface from solutions increases while the solution pH-value increases. It has been noted that the adsorption value of organic cations depends on the amount of clay fraction in diatomite.*

**Key words:** diatomite, adsorption, organic cations, organic anions, fine purification, wastewater.

---

**Убаськина Юлия Александровна**, кандидат химических наук, научный сотрудник  
ФГУП «ИРЕА» (г. Москва)  
Адрес: Россия, 107076, г. Москва, Богородский вал, д.3  
E-mail: [juliabasjo@gmail.com](mailto:juliabasjo@gmail.com)

**Коростелева Юлия Александровна**, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник  
ООО Научно-технологический центр «Силикатные материалы и технологии» (ООО НТЦ «СМИТ») (г. Ульяновск)  
Адрес: Россия, 432017, Ульяновск, ул. Кузнецова, д. 4 Б  
E-mail: [nauka@diamix.ru](mailto:nauka@diamix.ru)