



## НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ/INORGANIC CHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1>

## ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ГРАНУЛИРОВАННОМ И ПОРОШКООБРАЗНОМ ДИАТОМИТЕ ИНЗЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Научная статья

Божко А.А.<sup>1,\*</sup>, Митрошина А.А.<sup>2</sup>, Алехина М.Б.<sup>3</sup>, Убаськина Ю.А.<sup>4</sup><sup>3</sup>ORCID : 0000-0003-2477-2649;<sup>1,2,3</sup> Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва, Российская Федерация<sup>4</sup> Курчатовский комплекс химических исследований НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (alice.bozhko[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Данная работа посвящена исследованию процесса адсорбции органических красителей на гранулированном и порошкообразном диатомите Инзенского месторождения. На примере адсорбции малахитового зеленого было показано, что порошковый диатомит демонстрирует существенно более высокую адсорбционную способность по красителю малахитовому зеленому по сравнению с гранулированным.

Рассмотрена возможность регенерации и повторного использования гранулированного диатомита с применением реактива Фентона. Установлено, что после проведения 4–5 циклов адсорбция-регенерация адсорбционная емкость материала практически не изменилась. Анализ растворов после окисления подтвердил отсутствие в них красителя и его фрагментов.

**Ключевые слова:** диатомит, адсорбция, сточные воды, органические красители, реактив Фентона.

## STUDY OF THE ADSORPTION OF ORGANIC DYES ON GRANULAR AND POWDERED DIATOMITE FROM THE INZENSK DEPOSIT

Research article

Bozhko A.A.<sup>1,\*</sup>, Mitroshina A.A.<sup>2</sup>, Alekhina M.B.<sup>3</sup>, Ubaskina Y.A.<sup>4</sup><sup>3</sup>ORCID : 0000-0003-2477-2649;<sup>1,2,3</sup> D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation<sup>4</sup> Kurchatov Complex of Chemical Research at the Kurchatov Institute Research Center, Moscow, Russian Federation

\* Corresponding author (alice.bozhko[at]yandex.ru)

**Abstract**

This work is devoted to the study of the adsorption process of organic dyes on granular and powdered diatomite from the Inzensk deposit. On the example of malachite green adsorption, it was shown that powdered diatomite demonstrates a significantly higher adsorption capacity for malachite green dye compared to granular diatomite.

The possibility of regenerating and reusing granular diatomite with Fenton's reagent was examined. It was found that after 4–5 adsorption-regeneration cycles, the adsorption capacity of the material remained virtually unchanged. Analysis of the solutions after oxidation confirmed the absence of dye and its fragments.

**Keywords:** diatomite, adsorption, wastewater, organic dyes, Fenton's reagent.

**Введение**

Как известно, сточные воды являются источником загрязнения как неорганического, так и органического характера. Особое внимание природоохранных регулирующих органов акцентируется на сбросах сточных вод, содержащих красители, ввиду их высокой сложности очистки [1]. Кроме того, многие из этих красителей обладают токсическими, мутагенными и канцерогенными свойствами, что создает значительные риски для экосистем, биоразнообразия и здоровья человека [2]. На сегодняшний день известно более 100 тысяч коммерчески используемых красителей, а их ежегодное производство превышает 700 тысяч тонн, и эта цифра продолжает расти [3], [4].

Современные исследования направлены на разработку и внедрение передовых технологий тонкой очистки жидких сред от органических красителей, а также на поиск эффективных сорбентов, способных обеспечить высокую степень очистки. Адсорбционный метод, основанный на адсорбции загрязняющих веществ на поверхности сорбента, является одним из наиболее перспективных подходов для удаления органических соединений из сточных вод [5]. Этот метод особенно эффективен при низких концентрациях загрязнителей и широко применяется в процессах водоподготовки и доочистки сточных вод [2], [5].

Природные минеральные сорбенты представляют собой альтернативу искусственным материалам благодаря своей доступности и экологической безопасности. Они обладают высокой удельной поверхностью, пористостью и адсорбционной способностью, что делает их эффективными для удаления органических загрязнителей [6]. Одним из таких природных сорбентов является диатомит, который представляет собой опал-кристобалитовую породу, состоящую из диатомового ила, глинистых и песчано-алевритовых фракций. Его пористая структура, малая плотность и большая площадь поверхности обеспечивают высокую сорбционную и фильтрующую активность, что делает его перспективным материалом для применения в процессах очистки сточных вод [6], [7], [8], [9].



Как известно из литературных данных и было подтверждено результатами наших исследований, карьерный диатомит, не обработанный термически, обладает достаточно высокой адсорбционной способностью, но низкой проницаемостью и низкой механической прочностью. Гранулированный диатомит для применения в процессах водоочистки и водоподготовки должен обладать более высокой механической прочностью и стабильностью, поэтому для повышения прочности гранул необходима их термообработка при высоких температурах. Однако при этом существенно уменьшается их адсорбционная способность по отношению к полярным органическим соединениям при их адсорбции из водных растворов, так как уменьшается количество реакционноспособных гидроксильных групп на поверхности адсорбента.

В работах [8], [9] показана выгода замены песчаных фильтров в установках водоочистки и возможность очистки грязных вод с использованием гранулированного диатомита марки «Диамикс Аква» в качестве фильтровальной загрузки. Гранулированный диатомит марки «Диамикс Аква» термически обработан при 1000°C. Эффективные технологические показатели работы Диамикс Аква характеризуются длительными сроками использования, сокращением числа промывок, увеличением фильтроциклов, высоким качеством очистки воды, высокой степенью грязеемкости, существенным снижением энерго- и ресурсозатрат.

На выбор формы применяемого сорбента также влияют такие факторы, как размер помола, возможность повторного использования, химическая модификация сорбента посредством обработки кислотами и/или щелочами, а также содержание нежелательных примесей [10]. Все эти параметры оказывают комплексное влияние на производственные и экономические показатели эффективности сорбента.

В связи с этим целью данного исследования стало сравнительное изучение адсорбционных свойств диатомита в порошковой и гранулированной формах по отношению к органическим красителям, а также оценка возможности его регенерации и повторного использования.

### Методология

В качестве объектов исследования были выбраны образцы диатомита Инзенского месторождения. Первый объект представлял собой серый порошок с желтоватым отливом.

Методология получения порошка диатомита: карьерный диатомит подвергали термической обработке в лабораторной вращающейся печи, поддерживая температуру 150°C в течение 30 минут. После завершения термообработки материал охлаждали до комнатной температуры. Затем его пропускали через лабораторную щековую дробилку и помещали в лабораторную шаровую мельницу для последующего измельчения. Измельчение проводилось в течение 25 минут. Затем полученную представительную партию классифицировали с помощью набора лабораторных сит. Для эксперимента была выбрана основная фракция с размером частиц от 0,25 до 0,50 мм.

Вторым объектом исследования послужил гранулированный диатомит, фракция 0,8–2,0 мм. Технология изготовления гранул из диатомита: карьерный диатомит гранулировали и опудривали порошком тонкодисперсного диатомита в лабораторном смесителе интенсивного действия Eirich R02. Полученные гранулы сушили при температуре 150°C во вращающейся печи. Затем гранулы подвергали термообработке во вращающейся печи при температуре 550°C, охлаждали до комнатной температуры и классифицировали с помощью набора сит с получением основной фракции — 0,8–2,0 мм.

Элементный анализ порошкового и гранулированного диатомита проводили методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX). Исследование проводилось на энергодисперсионном спектрометре для электронно-зондового микроанализа SSD X-Max Inca Energy (Oxford Instruments, Великобритания), оснащенный сканирующим электронным микроскопом JEOL 1610LV (JEOL, Япония).

Для исследования топографии поверхности и структуры образца использовался метод сканирующей электронной микроскопии (SEM). Исследование проводилось на сканирующем электронном микроскопе JSM 6510LV (JEOL, Япония).

Текстурные характеристики порошка и гранул диатомита исследовали методом низкотемпературной адсорбции азота при 77 К на приборе ASAP 2020 (Micromeritics, США). Перед измерением образец подвергался вакуумированию до остаточного давления, не превышающего 0,5 мм рт.ст., при температуре 120°C (с шагом нагрева 5 °/мин). Время выдержки при данных условиях составляло 30 мин. После выполнения условий, описанных выше, температура была увеличена до 200°C (шаг нагрева 10 °/мин) при том же остаточном давлении. Время выдержки составило 12 ч.

Методом низкотемпературной адсорбции азота были получены изотермы. На их основе с помощью уравнения БЭТ были вычислены значения удельной поверхности образцов ( $S_{уд}$ ). Суммарный объем микро- и мезопор ( $V_s$ ) определяли по изотерме адсорбции азота при значении относительного давления, равном 0,995. Средний диаметр (преобладающих в материале) сорбирующих мезопор  $d_{ме}$  был определен методом Баррета-Джойнера-Халенды (ВЖН).

Измерения элементного анализа образцов диатомита, исследования топографии поверхности, а также определение текстурных характеристик выполнены на оборудовании ЦКП имени Д. И. Менделеева.

Насыпная плотность порошка и гранул диатомита была определена в соответствии с требованиями ГОСТ 9758-2012 [11].

Для моделирования растворов сточных вод, содержащих красители, был выбран основной краситель малахитовый зеленый ( $C_{23}H_{25}ClN_2$ ). Его структурная формула представлена на рис. 1.

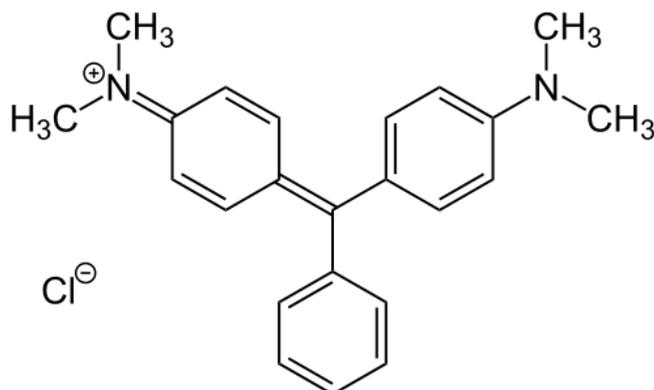


Рисунок 1 - Структурная формула красителя малахитового зеленого  
DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.1>

Экспериментальное определение изотерм адсорбции красителя малахитового зеленого на образцах диатомита при 20°C включало следующие основные операции: приготовление раствора красителя с заданной концентрацией (мг/л); термическая обработка диатомита при 200°C в муфельной печи; помещение 15 различных навесок диатомита в 15 конических колб с добавлением 100 мл раствора красителя. Через неделю выдержки при комнатной температуре и периодическом перемешивании суспензии отделяли раствор от твердой фазы сорбента вначале с помощью фильтра «синяя лента», затем с помощью центрифуги, и после этого измеряли оптическую плотность полученного раствора с помощью спектрофотометра ПЭ-5400УФ («ЭКРОСХИМ», Россия) при длине волны 617 нм. Величину равновесной адсорбции рассчитывали по формуле:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_{\text{РАВН}}) \cdot V}{m}$$

где  $\Gamma$  — равновесная величина адсорбции, мг/г;  $C_0$  — исходная концентрация раствора красителя, мг/л;  $C_{\text{РАВН}}$  — равновесная концентрация красителя в растворе после адсорбции, мг/л;  $m$  — масса навески диатомита, г;  $V$  — объем раствора, л.

Статистическая обработка спектрофотометрического определения равновесных концентраций малахитового зеленого в водных растворах показала, что ошибка экспериментального определения остаточной концентрации составила 3,7%.

Выбор диапазона концентраций был обусловлен спецификой применения сорбционных фильтров, которые традиционно используются в качестве завершающего этапа очистки в условиях, когда содержание органических примесей в растворе не превышает 100 мг/л. Так, при адсорбции на порошкообразном диатомите начальная концентрация красителя была установлена на уровне 100 мг/л, тогда как для гранулированного диатомита, учитывая его более низкую адсорбционную способность, начальная концентрация красителя составила 5 мг/л.

Для регенерации адсорбента после проведения стадии адсорбции был взят за основу метод по проведению окислительной деструкции органических веществ в порах адсорбента с помощью реактива Фентона [12], [13], [14]. В реактор с рубашкой, в котором находился диатомит, насыщенный красителем после стадии адсорбции, добавляли водные растворы, содержащие 50 мл пероксида водорода с концентрацией 30 мг/л и 50 мл сульфата железа (II) с концентрацией 30 мг/л. Значения pH составляли 3-4, температура 70°C, продолжительность обработки 1 ч при постоянном перемешивании.

Отработку регенерации проводили на гранулированном диатомите с размером частиц 0,8-2,0 мм. Масса сорбента составила 0,3 г. После регенерации гранулы изменили цвет с темно-сине-зеленого на коричневый. Затем повторялась адсорбция красителя. Всего было проведено 5 циклов адсорбция/десорбция.

В другой серии опытов на гранулах диатомита фракции 0,8-2,0 мм проводили многократную окислительную регенерацию с помощью реактива Фентона с промежуточной сушкой при 200°C в сушильном шкафу между стадией адсорбции красителя из раствора и регенерацией адсорбента в реакторе. Всего было проведено 4 цикла.

### Результаты и их обсуждение

Результаты количественного рентгеновского микроанализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Элементные составы порошкового и гранулированного диатомита

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.2>

Исходный образец	Элементный состав, % масс.								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Порошок	6,88	55,61	0,03	0,48	2,63	31,55	0,93	0,30	1,61
Гранулы	5,18	56,36	0,14	0,48	2,59	32,31	0,77	0,28	1,89

Из данных таблицы 1 видно, что порошок диатомита содержит больше калия и кальция и меньше натрия и железа. Кроме того, известно, что железо в диатомите отрицательно влияет на очистку различных жидких сред, так как его соединения способны окрашивать жидкости, а при попадании в воду влиять на ее качество, значительно ухудшая органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус. Железо также увеличивает показатели цветности и мутности воды. В связи с этим содержание оксида железа (III) в породе необходимо учитывать при производстве адсорбентов на основе диатомита, а также необходимо контролировать концентрацию соединений железа в очищенных жидких средах. Также нами ранее было обнаружено, что с повышением содержания оксидов щелочных и щелочноземельных металлов в породе адсорбция катионных органических красителей на поверхности опал-кристобалитовых пород повышается.

Результаты исследования образцов диатомита методом СЭМ представлены на рисунке 2.

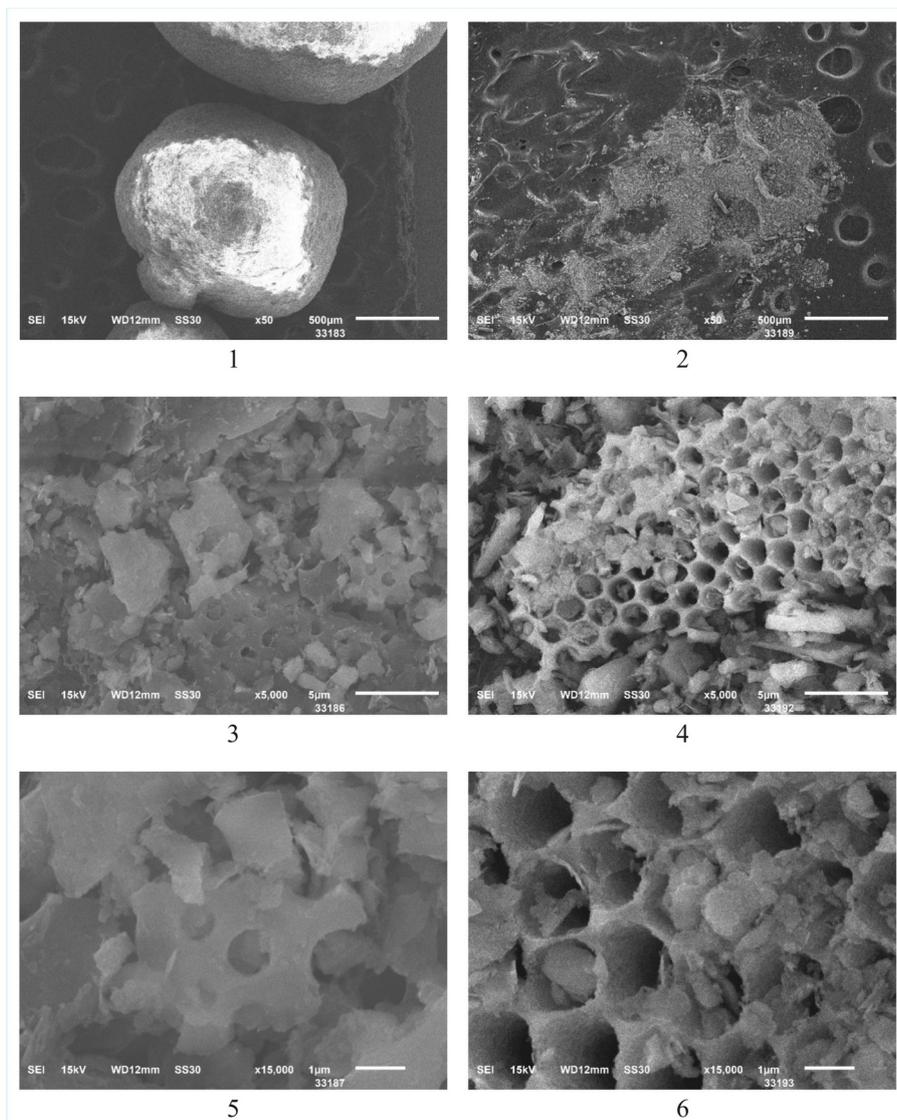


Рисунок 2 - Результаты СЭМ поверхности гранул диатомита (1, 3, 5) и порошка диатомита (2, 4, 6)  
DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.3>

Как видно из рисунка, гранулирование приводит к значительному изменению рельефа поверхности образцов. Насыпная плотность порошка диатомита составила  $472 \text{ кг/м}^3$ , насыпная плотность гранул диатомита —  $680 \text{ кг/м}^3$ . Текстульные характеристики гранул и порошка диатомита приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Текстульные характеристики образцов диатомита

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.4>

Образец диатомита	Удельная поверхность $S_{уд}$ по БЭТ, $\text{м}^2/\text{г}$	Суммарный объем сорбирующих пор $V_s$ , $\text{см}^3/\text{г}$	Средний диаметр сорбирующих мезопор $d_{ме}$ , нм
Порошок	31,50	0,073	3,9

Образец диатомита	Удельная поверхность $S_{уд}$ по БЭТ, м <sup>2</sup> /г	Суммарный объем сорбирующих пор $V_s$ , см <sup>3</sup> /г	Средний диаметр сорбирующих мезопор $d_{ме}$ , нм
Гранулы	28,62	1,309	23,9

На рис. 3 представлены экспериментальные изотермы адсорбции малахитового зеленого на порошке диатомита при 20°C по данным двух опытов.

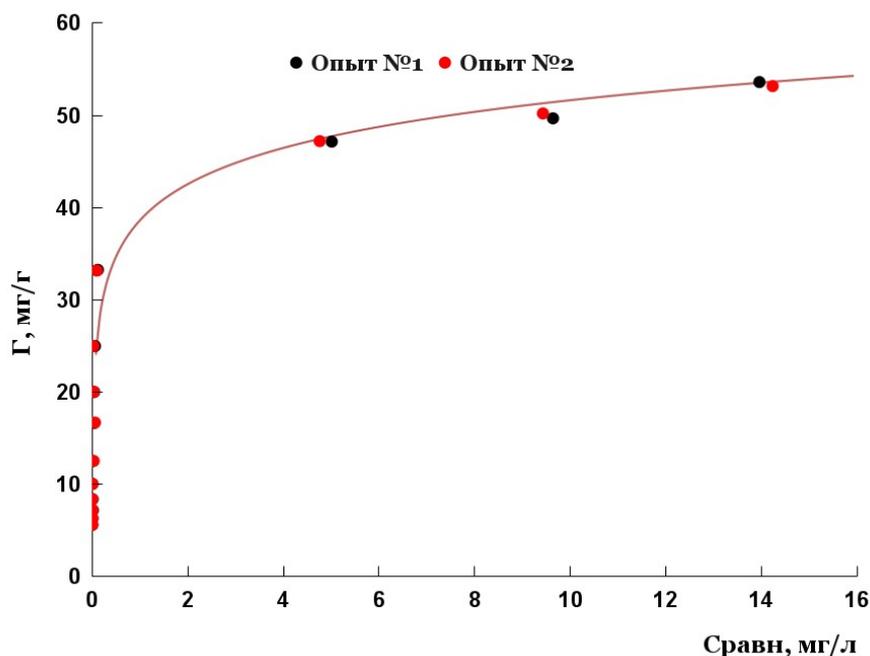


Рисунок 3 - Изотермы адсорбции малахитового зеленого на порошковом диатомите при 20°C  
DOI: <https://doi.org/10.60797/СНЕМ.2026.8.1.5>

Изотерма адсорбции красителя малахитового зеленого на частицах гранулированного диатомита размером 0,8-2,0 мм представлена на рис. 4.

Экспериментальные данные продемонстрировали, что значения равновесной адсорбции малахитового зеленого на порошковом диатомите в исследованном диапазоне концентраций варьировались в пределах 35–50 мг/г.

В то же время при адсорбции на гранулированных образцах были зафиксированы значительно более низкие равновесные величины адсорбции, составляющие 1–2 мг/г в том же диапазоне равновесных концентраций. Эти результаты позволяют сделать вывод о том, что гранулированные образцы по сорбционной способности существенно уступают порошковому диатомиту.

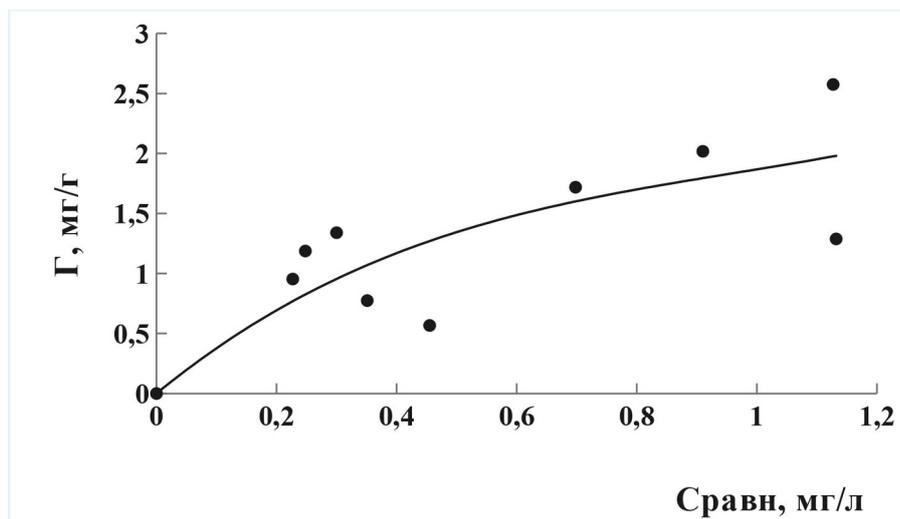


Рисунок 4 - Изотерма адсорбции красителя малахитового зеленого на частицах гранулированного диатомита фракции 0,8-2,0 мм при 20°C

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.6>

Результаты исследования регенерации гранулированного диатомита путем обработки реактивом Фентона представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Значения равновесной величины адсорбции малахитового зеленого на диатомите при 20°C, полученные в циклах адсорбция-регенерация с промежуточной сушкой образца

DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.7>

Размер частиц, мм	Номер цикла адсорбция-десорбция	Равновесная концентрация, мг/л	Г, мг/г
0,8-2,0	1	0,59	1,36
	2	0,47	1,46
	3	0,94	1,48
	4	0,78	1,59
	5 (адсорбция)	0,50	1,77

На рис. 5 приведена изотерма адсорбции малахитового зеленого при 20°C на образце гранулированного диатомита (фракция 0,8–2,0 мм). На графике показаны точки повторных значений равновесной адсорбции Г, полученных в циклах адсорбция-десорбция. Цифрами обозначен номер цикла.

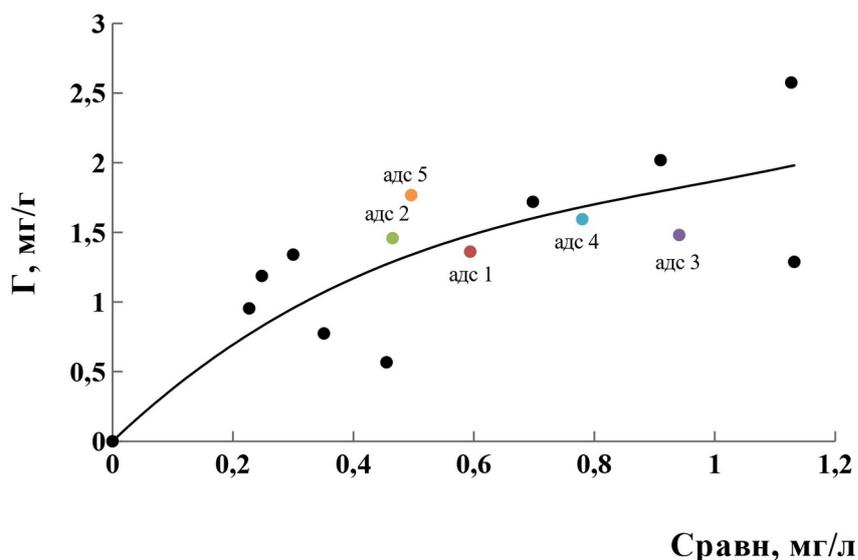


Рисунок 5 - Изотерма адсорбции малахитового зеленого на гранулированном диатомите с размером частиц 0,8-2,0 мкм при 20°C с нанесенными значениями  $\Gamma$  после проведения циклов адсорбция-регенерация  
DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.8>

Анализ данных, приведенных на рис. 5 показывает, что значения  $\Gamma$ , полученные в циклической работе, практически совпадают со значениями, полученными в первом эксперименте. На основании этого мы можем сделать вывод, что десорбция красителя из пористой структуры диатомита была осуществлена практически полностью, и адсорбент восстановил свою емкость в результате окисления адсорбированного красителя реактивом Фентона.

Был проведен дополнительный элементный анализ гранул образцов после 1-й и 5-й регенераций. Результаты в сопоставлении с данными для исходного образца приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Элементный состав исходного гранулированного диатомита и образцов после регенерации  
DOI: <https://doi.org/10.60797/CHEM.2026.8.1.9>

Компонент	Элементный состав, % масс								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Исходный образец (гранулы)	5,18	56,36	0,14	0,48	2,59	32,31	0,77	0,28	1,89
Образец после 1-й регенерации	6,98	53,5	–	0,52	2,43	33,80	0,72	–	2,05
Образец после 5-й регенерации с сушкой при 200 °C	–	58,35	0,19	0,55	2,51	35,83	0,6	–	1,99

Из представленных данных следует, что в результате регенерации адсорбента с использованием реактива Фентона в циклическом режиме, произошли изменения в элементном составе образца диатомита по сравнению с исходным материалом. В частности, увеличилось содержание углерода на 1,8% после первой регенерации, что связано с наличием фрагментов красителя на поверхности образца, и железа на 0,16%, которое было добавлено для регенерации адсорбента. После первой регенерации в образце отсутствовали натрий и кальций. После пятой регенерации в образце отсутствовали углерод и кальций, содержание железа было выше, чем в исходном диатомите.

Анализ растворов после окисления подтвердил отсутствие в них красителя и его фрагментов.



### Заключение

В ходе сравнительного анализа адсорбционных свойств диатомита в порошковой и гранулированной формах по отношению к органическому красителю малахитовому зеленому было установлено, что порошковый диатомит демонстрирует значительно более высокую адсорбционную способность по сравнению с гранулированным аналогом. Это обусловлено термической обработкой диатомита при 550°C при его получении, что ведет к снижению его адсорбционной емкости по отношению к полярным органическим соединениям.

Элементный анализ выявил, что содержание щелочных и щелочноземельных металлов, которые способствуют улучшению адсорбционных свойств материала, в порошковом диатомите несколько выше, чем в гранулированном. Напротив, содержание оксида железа в порошковом диатомите значительно ниже по сравнению с гранулированным аналогом. Оксид железа не только негативно влияет на адсорбционную активность, но и представляет собой потенциальный загрязнитель водных экосистем, что делает его присутствие нежелательным в водоочистных процессах.

Исследована возможность регенерации и повторного использования гранулированного диатомита в циклических процессах адсорбция-окислительная регенерация реактивом Фентона. Результаты показали, что после проведения 4–5 циклов адсорбционная емкость материала остается практически неизменной. Данные инструментальных анализов показали, что элементный состав диатомита практически не изменился, а растворы после окисления не содержали красителя и его фрагментов.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Hethnawi A. Polyethylenimine-functionalized pyroxene nanoparticles embedded on Diatomite for adsorptive removal of dye from textile wastewater in a fixed-bed column / A. Hethnawi, N.N. Nassar, A.D. Manasrah [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. — 2017. — Vol. 320. — P. 389–404.
2. Джубари М.К. Методы удаления пигментов из сточных вод / М.К. Джубари, Н.В. Алексеева, Г.И. Базияни [и др.] // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. — 2021. — Т. 332. — № 7. — С. 54–64.
3. Yagub M.T. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review / M.T. Yagub, T.K. Sen, S. Afroze [et al.] // *Adv Colloid Interface Sci*. — 2014. — Vol. 209. — P. 172–184.
4. Varun J. Global dye Market – industry trends and forecast up to 2030 : Chemical And Materials Market Access Report / J. Varun // *Data Bridge Market Research*. — 2023. — URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-colorants-market>. (дата обращения: 20.02.25)
5. Самонин В.В. Сорбционные технологии защиты человека, техники и окружающей среды / В. В. Самонин, М. Л. Подвязников, Е. А. Спиридонова. — Санкт-Петербург: Наука, 2021. — 531 с.
6. Никифоров Е.А. Наука о диатомите. Возрождение / Е.А. Никифоров // *Инновации*. — 2014. — № 2 (184). — С. 90–94.
7. Шайхиев И.Г. Исследование диатомита для очистки маслосодержащих вод / И.Г. Шайхиев, Ю.А. Суянгулова // *Вестник Казанского технологического университета*. — 2013. — Т. 16. — № 14. — С. 90–92.
8. Парагузов П.А. Использование фильтровальной загрузки Диамикс Аква для получения высокого качества воды питьевого назначения / П.А. Парагузов, Е.Г. Фетюхина, Н.Н. Карамышева // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. — 2018. — № 10 (130). — С. 36–49.
9. Молодкина Л.М. Фильтровальный материал Диамикс Аква как загрузка для контактного осветлителя в технологии водоподготовки / Л.М. Молодкина, Ю.А. Коростылева, А.Н. Чусов [и др.] // *Экология и промышленность России*. — 2022. — Т. 26. — № 4. — С. 44–49.
10. Изосимова Ю.Г. Применение природных и модифицированных сорбентов для очистки сточных вод / Ю.Г. Изосимова, Е.И. Караванова, И.В. Данилин [и др.] // *Глины и глинистые минералы – 2023 : VI Российское Собрание по глинам и глинистым минералам «ГЛИНЫ-2023», Санкт-Петербург, 13–16 июня 2023 года*. — Санкт-Петербург: ИГЕМ РАН, 2023. — С. 91–93.
11. ГОСТ 9758-2012. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний : межгосударственный стандарт: издание официальное: приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 2073-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 9758-2012 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 ноября 2013 г. : дата введения 2013-11-01. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 68 с.
12. He Y. Evaluation of MnO<sub>2</sub>-templated iron oxide-coated diatomites for their catalytic performance in heterogeneous photo Fenton-like system / Y. He, D.B. Jiang, D.Y. Jiang [et al.] // *Journal of Hazardous Materials*. — 2018. — Vol. 344. — P. 230–240.



13. Конькова Т.В. Кобальтосодержащие катализаторы на основе  $Al_2O_3$  для окислительной деструкции органических красителей в водной фазе / Т.В. Конькова, И.П. Просвирин, М.Б. Алехина [и др.] // Кинетика и катализ. — 2015. — Т. 56. — № 2. — С. 207–213.

14. Jiang D.B. Facile synthesis of three-dimensional diatomite/manganese silicate nanosheet composites for enhanced Fenton-like catalytic degradation of malachite green dye / D.B. Jiang, Y. Yuan, D. Zhao [et al.] // Journal of Nanoparticle Research. — 2018. — Vol. 20. — P. 123/1–123/10.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Hethnawi A. Polyethylenimine-functionalized pyroxene nanoparticles embedded on Diatomite for adsorptive removal of dye from textile wastewater in a fixed-bed column / A. Hethnawi, N.N. Nassar, A.D. Manasrah [et al.] // Chemical Engineering Journal. — 2017. — Vol. 320. — P. 389–404.

2. Gubari M.Q. Metody udaleniya pigmentov iz stochnyh vod [Methods for removing pigments from waste water] / M.Q. Gubari, N.V. Alekseeva, G.I. Baziyani [et al.] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov [Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]. — 2021. — Vol. 332. — № 7. — P. 54–64. [in Russian]

3. Yagub M.T. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: a review / M.T. Yagub, T.K. Sen, S. Afroze [et al.] // Adv Colloid Interface Sci. — 2014. — Vol. 209. — P. 172–184.

4. Varun J. Global dye Market – industry trends and forecast up to 2030 : Chemical And Materials Market Access Report / J. Varun // Data Bridge Market Research. — 2023. — URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-colorants-market>. (accessed: 20.02.25)

5. Samonin V.V. Sorbcionnye tekhnologii zashchity cheloveka, tekhniki i okruzhayushchej sredy [Sorption technologies for the protection of humans, equipment and the environment] / V. V. Samonin, M. L. Podvyaznikov, E. A. Spiridonova. — St.Petersburg: Nauka, 2021. — 531 p. [in Russian]

6. Nikiforov E.A. Nauka o diatomite. Vozrozhdenie [Science of diatomite. Revival] / E.A. Nikiforov // Innovacii [Innovations]. — 2014. — № 2 (184). — P. 90–94. [in Russian]

7. Shajhiev I.G. Issledovanie diatomita dlya ochistki maslosoderzhashchikh vod [Study of diatomite for the purification of oil-containing water] / I.G. Shajkhiev, YU.A. Suyangulova // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]. — 2013. — Vol. 16. — № 14. — P. 90–92. [in Russian]

8. Paraguzov P.A. Ispol'zovanie fil'troval'noj zagruzki Diamiks Akva dlya polucheniya vysokogo kachestva vody pit'evogo naznacheniya [Use of Diamix Aqua filter media to obtain high-quality drinking water] / P.A. Paraguzov, E.G. Fetyukhina, N.N. Karamysheva // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodospabzhenie [Water purification. Water treatment. Water supply]. — 2018. — № 10 (130). — P. 36–49. [in Russian]

9. Molodkina L.M. Fil'troval'nyj material Diamiks Akva kak zagruzka dlya kontaktного осветлителя в технологии водоподготовки [Filter Material Diamix Aqua as a Media for a Contact Filter in Water Treatment Technology] / L.M. Molodkina, Yu.A. Korostyleva, A.N. Chusov [et al.] // Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and Industry of Russia]. — 2022. — Vol. 26. — Iss. 4. — P. 44–49. [in Russian]

10. Izosimova, YU.G. Primenenie prirodnykh i modifitsirovannykh sorbentov dlya ochistki stochnykh vod [Application of natural and modified sorbents for wastewater treatment] / YU.G. Izosimova, E.I. Karavanova, I.V. Danilin [et al.] // Gliny i glinistyie mineraly – 2023 : VI Rossijskoe Soveshchanie po glinam i glinistym mineralam «GLINY-2023», Sankt-Peterburg, 13–16 iyunya 2023 goda [Clays and clay minerals – 2023: VI Russian Conference on Clays and Clay Minerals 'CLAYS-2023', St. Petersburg, 13–16 June 2023]. — St. Petersburg: IGEM RAS, 2023. — P. 91–93. [in Russian]

11. GOST 9758-2012. Zapolniteli poristye neorganicheskie dlya stroitel'nykh robot. Metody ispytanij : mezhgosudarstvennyj standart: izdanie oficial'noe [GOST 9758-2012. Porous inorganic fillers for construction works. Test methods: interstate standard: official publication]: By order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 2073-st dated 27 December 2012, interstate standard GOST 9758-2012 was introduced as a national standard of the Russian Federation on 1 November 2013; date of introduction 2013-11-01. — Moscow : Standartinform, 2014. — 68 p. [in Russian]

12. He Y. Evaluation of  $MnO_2$ -templated iron oxide-coated diatomites for their catalytic performance in heterogeneous photo Fenton-like system / Y. He, D.B. Jiang, D.Y. Jiang [et al.] // Journal of Hazardous Materials. — 2018. — Vol. 344. — P. 230–240.

13. Kon'kova T.V. Kobal'tosoderzhashchie katalizatory na osnove  $Al_2O_3$  dlya okislitel'noj destrukticii organicheskikh krasitelej v vodnoj faze [Cobalt-containing catalysts based on  $Al_2O_3$  for the oxidative destruction of organic dyes in the aqueous phase] / T.V. Kon'kova, I.P. Prosvirin, M.B. Alekhina [et al.] // Kinetika i kataliz [Kinetics and Catalysis]. — 2015. — Vol. 56. — № 2. — P. 207–213. [in Russian]

14. Jiang D.B. Facile synthesis of three-dimensional diatomite/manganese silicate nanosheet composites for enhanced Fenton-like catalytic degradation of malachite green dye / D.B. Jiang, Y. Yuan, D. Zhao [et al.] // Journal of Nanoparticle Research. — 2018. — Vol. 20. — P. 123/1–123/10.