

УДК 544.723.2

ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТБЕЛЬНОЙ ГЛИНЫ В ХОДЕ ТЕРМООБРАБОТКИ

**©2024 С. В. Свергузова¹, Р. Р. Гафаров^{1, *}, О. С. Зубкова^{2, **},
Ж. А. Сапронова¹, И. Г. Шайхиев³**

¹*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
ул. Костюкова, 46, г. Белгород, 308012 Россия*

²*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II
21-я линия Васильевского острова, 2-4/45, г. Санкт-Петербург, 199106 Россия*

³*Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, Республика Татарстан, 420015 Россия*

**e-mail: beldevid94@mail.ru*

***e-mail: ChurkinaOS@pers.spmi.ru*

Поступила в редакцию 27.03.2024 г.

После доработки 20.05.2024 г.

Принята к публикации 20.05.2024 г.

В работе исследованы изменения физико-химических и коллоидно-сорбционных свойств термообработанной отбелной глины после её использования в процессе очистки растительного масла. В качестве сравнения использовали отбелную глину, термообработанную при разных температурах. Коллоидно-сорбционные свойства изучали путём адсорбции красителя метиленового голубого из водных растворов.

Показано, что адсорбция метиленового голубого протекает более эффективно глиной, обожжённой при температуре 350°C. Адсорбция в области насыщения для глины, термообработанной при 350°C составила 0.28 ммоль/г или 89.6 мг/г, а для глины, обожжённой при 250°C – 0.24 ммоль/г или 76/8 мг/г. При увеличении температуры обжига выше 500°C адсорбционные свойства отхода отбелной глины снижаются, вероятно, вследствие сгорания углеродного слоя.

На примере отработанной отбелной глины Алексеевского маслоэкстракционного завода было выявлено, что в ходе термообработки материала происходит удаление различных видов воды (свободной, межпакетной, химически связанной), что приводит к изменению таких коллоидно-сорбционных свойств, как рельеф поверхности частиц, удельная поверхность, сорбционная емкость, ζ – потенциал.

Ключевые слова: минералы, адсорбция, термообработка, отбелная глина, отход промышленности, минеральный состав, растительное масло.

**CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL AND SORPTION PROPERTIES OF BLEACHING CLAY DURING HEAT TREATMENT © 2024 г.
S. V. Sverguzova, R. R. Gafarov, O. S. Zubkova, J. A. Sapronova,
I. G. Shaikhiev.**

The work investigated changes in the physicochemical and colloidal sorption properties of heat-treated bleaching clay after its use in the process of refining vegetable oil. As a comparison, we used bleaching clay heat-treated at different temperatures. Colloidal sorption properties were studied by adsorption of methylene blue dye from aqueous solutions.

It has been shown that the adsorption of methylene blue occurs more efficiently with clay fired at a temperature of 350 °C. Adsorption in the saturation region for clay heat-treated at 350 °C was 0.28 mmol/g or 89.6 mg/g, and for clay fired at 250 °C – 0.24 mmol/g or 76.8 mg/g. When the firing temperature increases above 500 °C, the adsorption properties of the bleaching clay waste decrease, probably due to the combustion of the carbon layer.

Using the example of spent bleaching clay from the Alekseevsky oil extraction plant, it was revealed that during the heat treatment of the material, various types of water (free, interpacket, chemically bound) are removed, which leads to a change in colloidal sorption properties such as particle surface relief, specific surface area, sorption capacity ζ – potential.

Keywords: minerals, adsorption, heat treatment, bleach clay, industrial waste, mineral composition, vegetable oil.

ВВЕДЕНИЕ

Природные глины являются распространенными полезными ископаемыми, широко используемые в различных отраслях промышленности: производство цемента, керамического кирпича, буровых растворов и при реализации многих других процессов [1–3]. Месторождения глин встречаются во многих областях Российской Федерации: Белгородской, Курской, Липецкой, Воронежской, Архангельской, Иркутской и др. [4, 5].

К глинам относят тонкозернистые осадочные горные породы, кусковатые или пылевидные в сухом состоянии и приобретающие пластичность, либо раскисающие при увлажнении [6, 7]. Глины включают в себя минералы такие, как каолинит, монтмориллонит, нонтронит, смектиты, галлуазит, иллит, гидратированные разновидности слюд (гидрослюды), природные хлориты, палыгорскит, сепиолит и др. Для очистки масел, нефти и других материалов преимущественно используют глины, содержащие большую часть монтмориллонита и каолинита [8, 9].

Отходы отбелной глины образуются в больших количествах в маслоэкстракционной промышленности при очистке растительных масел путём выведения воскоподобных веществ. После проведения процесса вымораживания в качестве вспомогательного средства используют фильтровальные порошки — отбелные глины [10, 11]. После процесса фильтрации отбеленное масло поступает на дальнейшую переработку, а адсорбент с примесями, осевший на фильтровальных перегородках в виде осадка, сушится паром и удаляется из фильтра. Осадок на фильтрах после завершения всего процесса продувается сухим воздухом. Это делает осадок сыпучим и дает возможность добыть из него остатки масла – таким образом, потери продукта минимизируются [12, 13]. После удаления эти сорбционные материалы складываются на полигонах отходов и являются источником загрязнения окружающей среды, выделяют при разложении токсичные и парниковые газы. Обычно для отбеливания вводят 2.5% адсорбента от массы масла

[14]. Следовательно, при изготовлении одной тонны растительного масла образуется 25 кг отработанной отбелочной глины в сухом виде [13–16]. Учитывая содержание жира, масса отработанной глины увеличивается на 12–15%, что приводит к общему объему около 29 кг на тонну масла [17, 18]. Отбелочная глина представляет собой глинистые частицы, загрязнённые растительными жирами в количестве около 20 %. Глина с жирами образуется на производствах, производящих растительные масла, и лишь на одном из таких предприятий ежедневно производится более 4 тонн такого материала [19– 21]. Для поиска рациональных путей использования невостребованного отхода нами было изучено влияние процесса термообработки [22, 23] на изменение коллоидно-сорбционных характеристик отработанной отбелочной глины (ОГ), взятой на Алексеевском маслоэкстракционном заводе Белгородской области.

К коллоидным свойствам дисперсии отхода отбелочной относятся: дисперсность глинистых частиц, их ξ – потенциал, изоэлектрическая точка, сорбционная ёмкость. Эти показатели влияют на характер протекания адсорбции в процессе водоочистки. Повышение дисперсности частиц приводит к увеличению площади контакта отбелочной глины с сорбируемым компонентом, что увеличивает эффективность очистки. ξ – потенциал является электрокинетическим потенциалом в коллоидных дисперсиях. На электрический заряд поверхности влияют также рН среды, время контакта взаимодействующих веществ.

Особенности использования отхода отбелочной глины связаны с сорбционно-коллоидными свойствами приготавливаемой дисперсии отбелочной глины в водном растворе. Исследования коллоидных свойств глиняной дисперсии и взаимодействие её с извлекаемым сорбатом способствует более детальному описанию механизма процесса очистки.

Целью работы являлось исследование возможности использования термообработанной отбелочной глины в качестве сорбционного материала для извлечения

из водных сред загрязняющих веществ. В качестве загрязняющего вещества на данном этапе исследований использован краситель метиленовый голубой (МГ). Для достижения цели были поставлены следующие задачи: изучение ξ – потенциала частиц отбеленной глины при изменении рН среды, определение изоэлектрической точки (ИЭТ) ОГ.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ

В работе исследовался исходный отход (ИГ) после применения в производстве, а также отработанная глина после обжига при температурах 250°C (ОГ 250), 350°C (ОГ 350), 500°C (ОГ 500) и 600°C (ОГ 600). Минеральный и химический состав исследуемых образцов определяли рентгенофазовым анализом [24] по методу порошка на рентгеновском рентгенофлуоресцентном спектрометре. В одном приборе методом рентгеновской флуоресценции (XRF) можно определить элементный состав проб и методом рентгеновской дифракции (XRD) — фазовый состав проб. Морфологию поверхности исследовали методом растровой электронной микроскопии с помощью сканирующего электронного микроскопа.

ξ – потенциал частиц отбеленной глины определяли с помощью лазерного анализатора Zetatrac (Microtrac, США) методом электрофореза, который использует высокочастотное переменное электрическое поле для определения подвижности частиц и их заряда.

Насыпную плотность определяли по ГОСТ 5802-86 [25, 26].

Для определения истинной плотности глины был применен пикнометрический метод. Объем жидкости, вытесненный глиной из пикнометра, измерялся для дальнейших расчетов, учитывая известную вместимость пикнометра. В качестве жидкости использовалась дистиллированная вода. Глину перед исследованием тщательно

высушивали до полного удаления влаги. В экспериментах использовалась фракция глины с размером частиц менее 0.2 мм.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) для глины был выполнен с использованием прибора синхронного термического анализа. Использовали платиновый тигель (Pt – Rh – lids), образцы осадка и глины массой по 10 г, скорость нагрева 100 К/мин, скорость потока аргона (Ar) 30 см³/мин, скорость потока кислорода 10 см³/мин [27].

Исследование адсорбционных свойств [28, 29] исходной и обожженной ОГ проводили в статических условиях с использованием модельного раствора метиленового голубого (МГ) с концентрацией 15 мг/дм³. Время установления равновесия составляло 24 ч. В колбы вместимостью 250 см³ вносили по 100 см³ модельного раствора, туда же добавляли заданные навески НГ и ОГ. После перемешивания по окончании сорбции суспензию фильтровали и в фильтрате определяли остаточную концентрацию МГ фотоколориметрическим способом при длине волны $\lambda = 660$ нм [30, 31].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ порошковых рентгенограмм (рис. 1) показал, что исследуемую отбельную глину можно отнести к монтмориллонит-каолинитовым. В качестве примесей присутствуют: кварц, пиррофиллит, арагонит, палыгорскит, галлуазит, известково-натрий-калиевый шпат.

Рис. 1. Рентгеновские порошковые дифрактограммы: а) нативной (НГ), б) ОГ250, в) ОГ350, г) ОГ500, д) ОГ600. ▲ – калиевые полевые шпаты, ● – пиррофиллит, ◆ – палыгорскит, I – монтмориллонит, ✕ - кварц, ✓ – каолинит, ✦ – арагонит, ⬆ – галлуазит.

Как можно заметить на рис. 1, после термообработки состав ОГ претерпевает некоторые изменения. Так, на рентгенограммах ОГ после термообработки немного снижается доля монтмориллонита, что, очевидно, можно объяснить процессами деструкции.

Таблица 1. Физико-химические свойства отработанной отбеленной глины

Основные физико-химические свойства	
Насыпная плотность, кг/м ³	1320
Истинная плотность, кг/м ³	2720
Оксидный состав, %	
SiO ₂	51.73
Al ₂ O ₃	16.39
TiO ₂	2.29
Fe ₂ O ₃	17.10
MgO	2.29
CaO	0.95
Na ₂ O	0.44
K ₂ O	8.81

На рис. 2. показаны результаты ТГ и ДСК для отработанной отбеленной глины. Термогравиметрический анализ (ТГ) – метод термического анализа, при котором регистрируется изменение массы образца в зависимости от температуры. Видно, что при повышении температуры до 999.5°C остаточная масса составляет 80.38%, то есть образец ОГ потерял 19.62% своей массы при нагревании.

При 94.8°C наблюдаются эндотермические эффекты от удаления свободной воды, которая не входит в состав гидратных оболочек молекул и может быть в различных агрегатных состояниях, и адсорбированной воды, удерживающейся на поверхности

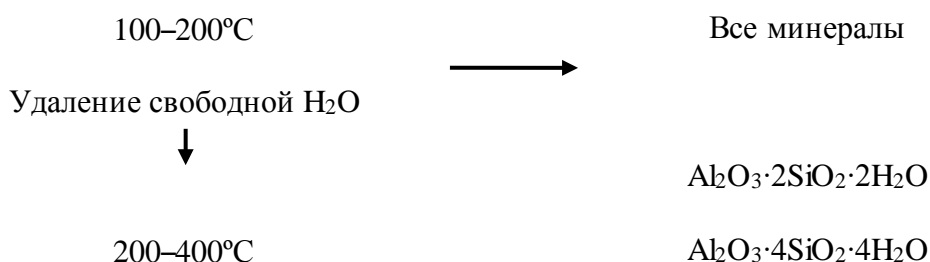
вещества силами молекулярного взаимодействия между твердой фазой и жидкостью. Выделение конституционной воды, химически связанной, в которой кислород и водород участвуют в молекулярном строении минералов в виде отдельных ионов (например, гидроксильной группы (ОН⁻)), входящих в состав их кристаллической решетки, в интервале 200 – 400 °С характеризуется эндотермическими эффектами при 245.2 и 360.6°С.

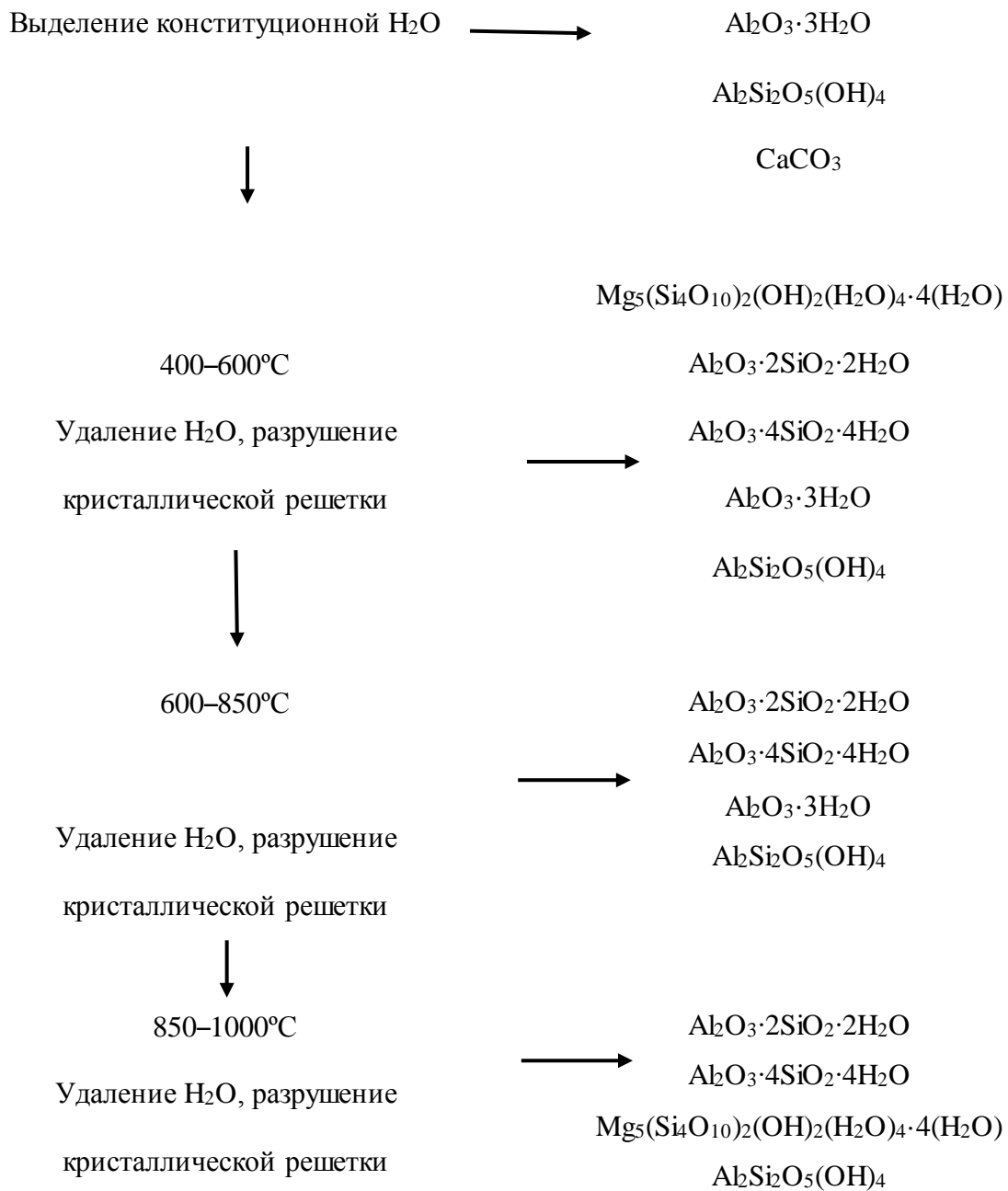
Процесс удаления следов конституционной воды в интервале 400–600°С соответствует эндотермическим эффектам при 447.3 и 510.1°С. В диапазоне от 600 до 850°С наблюдается эндотермический эффект при 686.8°С, который, вероятно, связан с удалением воды в виде координированных гидроксид-ионов и изменением координации алюминия (каолинит), также происходит удаление межпакетной воды в монтмориллоните.

В интервале температур от 850 до 1000°С происходят процессы удаления следов гидроксид-ионов и перестройки кристаллической решетки для каолинита и монтмориллонита. Соответствующие слабовыраженные эндотермические эффекты зафиксированы при температуре 859.9 и 905.7°С. Таким образом, при помощи термического анализа установлено, что исследуемый отход глины претерпевает некоторые изменения при термообработке [32, 33].

Рис. 2. Кривые ТГ и ДСК для отработанной отбеленной глины.

Изменения, происходящие с глинистыми минералами, входящими в состав отбеленной глины, указаны ниже.





Изменения количества оксидов при нагревании отхода отбельной глины представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, с повышением температуры увеличивается доля Al₂O₃ это, по-видимому, связано с удалением свободной и конституционной воды.

Рис. 3. Изменения количества оксида алюминия при нагревании отхода отбельной глины.

Для получения более полной текстурной характеристики отработанной отбеленной глины ОГ250 и ОГ350 проводили электронно-микроскопические исследования.

Рис. 4. Микрофотографии отработанной отбеленной глины: а) ОГ250; б) ОГ350.

На рис. 4. видно, что частицы ООГ обладают выраженной развитостью микрорельефа. Также при анализе микрофотографий установлено, что в основном поверхность анализируемых образцов представлена равномерно распределённой глинистой фракцией (цифра 1 на рис. 4). Изометричная форма частиц с хорошо заметной слоистой структурой позволяет идентифицировать основной глинистый минерал как монтмориллонит (цифра 2 на рис. 4).

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что при термической обработке изменяются как физико-химические, так и адсорбционные свойства отбеленной глины.

Для сравнения сорбционных свойств ОГ250 и ОГ350 строили изотермы адсорбции (рис. 5) в статическом режиме по методике, описанной в разделе «МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ».

Рис. 5. Изотермы адсорбции МГ ОГ350, ОГ250 и ОГ500.

Из результатов исследования видно, что максимальная сорбционная емкость (A_{\max}) увеличивается при повышении температуры термообработки. Так, для глины, обожженной при 250°C A_{\max} равна 0.24 ммоль/г или 76.8 мг/г, а для глины, обожженной при 350°C A_{\max} составляет 0.28 ммоль/г или 89.6 мг/г, что на 15% больше. При увеличении температуры обжига ООГ выше 500°C адсорбционные свойства ООГ снижаются, вероятно, вследствие

сгорания углеродного слоя. Это хорошо видно на рис. 6, т.к. при температуре обжига 600°C эффективность очистки ниже, чем при использовании ООГ, обожжённой при температуре 500°C.

По найденным значения A_{\max} была рассчитана удельная поверхность, $S_{\text{уд}}$, для глины, обожженной при 250 и 350°C по формуле (1):

$$S_{\text{уд}} = \frac{A \alpha * N_A * Q}{M}, \quad (1)$$

где N_A – число Авогадро ($6.02 * 10^{23}$ ммоль⁻¹), Q – истинная площадь поперечного сечения молекулы МГ, м²; M – молекулярная масса МГ, 319.85 г/моль.

Результатами расчетов определено, что удельная поверхность глины, обожженной при 250 °C составляет 25.8 м²/г, а обожженной при 350 °C – 30.04 м²/г, т.е. после увеличения температуры обжига удельная поверхность сорбционного материала возрастает на 16.4%.

Для получения дополнительных данных о процессе адсорбции нами исследована зависимость ξ -потенциала от рН среды (рис. 6). Полученные данные свидетельствуют о том, что максимальное значение ζ – потенциала (-29.2 мВ) наблюдается при рН 6.5–7.5.

Рис. 6. Зависимость ξ – потенциала поверхности частиц отбеленной глины, обожженной при 350°C, от величины рН.

При увеличении рН раствора до 7.8 наблюдается изоэлектрическая точка. Повышение величины ξ – потенциала до +11.6 мВ при сорбции МГ объясняется перезарядкой внешнего диффузного слоя частиц при появлении в растворе избытка противоионов (например): перезарядка поверхности диффузного слоя за счет притяжения противоионов из раствора.

Рис. 7. График зависимости эффективности очистки растворов МГ от температуры обжига ООГ.

График зависимости эффективности очистки растворов МГ от температуры обжига ООГ доказал, что наибольшая эффективность очистки достигается при обжиге ООГ при температуре 350°C.

С целью изучения влияния дисперсности частиц ОГ350 на эффективность очистки модельных растворов МГ, проводились исследования на модельных растворах в статических условиях (рис. 8).

Рис. 8. Зависимость эффективности очистки растворов МГ от размера частиц ООГ350.

Зависимости эффективности очистки модельных растворов от фракции сорбента показывают, что эффективность очистки возрастает с увеличением дисперсности используемой глины с 77 до 98%.

В связи с тем, что используемая нами в качестве сорбционного материала отбельная глина представляет собой отход производства и имеет низкую стоимость, подвергать её после процесса водоочистки регенерации нецелесообразно. К тому же процессы регенерации сопряжены с образованием новых видов отходов. Поэтому отработанный сорбционный материал на основе отбельной глины, с нашей точки зрения, целесообразно использовать в качестве пигментов-наполнителей при изготовлении красок, грунтовок, шпаклевок и других аналогичных материалов. При производстве красок используются различные пигменты, в том числе такие, как метиленовый голубой. Поэтому отрицательного влияния на качество красок, грунтовок оказываться не будет [34, 35].

Наполнители, применяемые в лакокрасочной промышленности, должны иметь: высокую дисперсность, низкую маслосмкость, небольшую плотность, низкую твёрдость, доступность для приобретения и минимальное содержание водорастворимых примесей. [36–38].

В табл. 3 приведены некоторые свойства используемых в настоящее время наполнителей, а также отработанного сорбционного материала на основе отбеленной глины.

Таблица 3. Некоторые свойства наполнителей

Название	Плотность, кг/м ³	Маслосмкость	pH водной вытяжки
Барит	4500	6–10	8–9
Доломит	2850	15–19	10
Каолин	2540–2600	13–20	5–8
Мел	2710	10–14	9–10
Отработанный сорбционный материал	2620	18	7.5

Как видно из приведенных в табл. 3. данных, отработанный сорбционный материал на основе отбеленной глины имеет свойства, сходные с используемыми материалами. Есть основания полагать, что этот материал также может быть использован в качестве пигментов–наполнителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенных исследований следует, что термообработка влияет как на коллоидно-адсорбционные свойства отхода отбеленной глины, так и на физико-химические. Удельная поверхность глины, установленная расчетным методом, для

обожженного образца при 250°C составляет 25.8 м²/г, а для обожженной при 350°C – 30.04 м²/г, что по сравнению с обожженной при 250°C глиной больше на 16.4%.

2. Термогравиметрический анализ и дифференциально-сканирующая калориметрия показали, что в ходе термообработки зажиренной глины происходит удаление свободной, адсорбированной, межпакетной и конституционной воды, а также разрушение кристаллических решеток и частичная деструкция других органических соединений.

3. Согласно результатам адсорбционных исследований, статическая сорбционная ёмкость обожженной при 250°C глины к красителю МГ составляет 0.24 ммоль/г или 76.8 мг/г, в то время как для термообработанной эта величина равна 0.28 ммоль/г или 89.6 мг/г, что представляет собой повышение на 15% по сравнению с необработанной глиной. При повышении температуры обжига выше 500°C адсорбционные характеристики глины снижаются, вероятно, из-за сгорания углеродного слоя.

4. Анализ ξ – потенциала показал, что максимальное значение ζ – потенциала (-29.2 мВ) наблюдается при рН 6.5–7.5, а изоэлектрическая точка при рН 7.8.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было. Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петин А.Н., Фурманова Т.Н., Петина М.А.* Геоэкологические проблемы добычи общераспространенных полезных ископаемых в Белгородской области // Горный журнал. - 2015. № 8. С. 61–64. <http://dx.doi.org/10.175S0/gzh.2015.08.13>
2. *Litvinova T.E., Tsareva A.A., Poltoratskaya M.E., Rudko V.A.* The mechanism and thermodynamics of ethyl alcohol sorption process on activated petroleum coke // Journal of Mining Institute, 2024.
3. *Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Сапронова Ж.А. и др.* Физико-химические свойства отбельной глины // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2023. Т. 66. № 6. С. 76–84. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20236606.6780>.
4. *Oranska O.I. Gornikov Yu. I.* X-ray diffraction and thermal studies on some food and cosmetic bentonite clays // Chemistry, Physics and Technology of Surface. 2019. V. 10. № 1. P. 13–21. <https://doi.org/10.15407/hftp10.01.013>
5. *Александрова Т.Н., Потемкин В.А.* Разработка методики оценки процесса гидроциклонирования с учетом реологических параметров минеральной суспензии // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 908–916. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.6.12>
6. *Kussainova B.M., Tazhkenova G.K., Kazarinov I.A.* Physical and chemical properties of natural clay deposits // Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Chemistry. Geography. Ecology Series. 2020. № 1(130). P. 42–47. <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2020-130-1-42-47>
7. *Sizyakov V.M., Bazhin V.Y., Piirainen V.Y. et al.* Implementation of self-propagating low-temperature synthesis to produce pure silicon carbide. Refract. Ind. Ceram. 2023. V. 64. P. 265–270. <https://doi.org/10.1007/s11148-024-00836-2>
8. *Косулина Т.П., Цокур О.С., Левашов А.С., Лукина Д.Ю.* Некоторые свойства и состав отходов масложировой промышленности стадии винтеризации растительного масла //

Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2013. Т. 10. № 4. – С. 67–75.

9. Студеникина Л.Н., Попова Л.В., Корчагин В.И. Утилизация оксо-неустойчивых отходов в производстве полимерных композиций // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 3. С. 4–8. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-3-4-8>

10. Реутская И.В. Экономическое обоснование внедрения универсальной технологии и производственной линии для переработки отходов очистки масличных семян // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 28(2). С. 249–253. <https://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10110>

11. Pyagay I.N., Shaidulina A.A., Konoplin R.R., Artyushevskiy D.I. et al. Production of amorphous silicon dioxide derived from aluminum fluoride industrial waste and consideration of the possibility of its use as $Al_2O_3 - SiO_2$ catalyst supports // Catalysts. 2022. V. 12. № 2. P. 162. <https://doi.org/10.3390/catal12020162>

12. Лебедев А.Б., Бажин В.Ю., Жадовский И.Т. Физико-химический процесс саморассыпания спека с получением оксида алюминия и γ -ортосиликата кальция // Цветные металлы. 2024. Т. 974. – № 2. С. 80–86. <https://doi.org/10.17580/tsm.2024.02.10>

13. Зубкова О.С., Пягай И.Н., Панкратьева К.А., Торопчина М.А. Разработка состава и исследование свойств сорбента на основе сапонита // Записки Горного института. 2023. Т. 259. С. 21–29. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.1>

14. Лебедев А.Б., Ивкин А.С. Повышение скорости спекания окатышей при полной замене бентонита на красный шлам // Черные металлы. 2023. № 3. С. 11–17. <https://doi.org/10.17580/chm.2023.03.02>

15. Горбов В.С., Куртукова Л.В., Горелова И.С. Обеспечение экологической безопасности при производстве растительных масел // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 1. С. 67–69.

16. *Разговоров П.Б., Прокофьев В.Ю., Разговорова М.П.* Изучение процесса кристаллообразования восков в растительных маслах при введении затравочных минеральных добавок // *Химия растительного сырья*. 2013. № 2. С. 207–212. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1302207>
17. *Овчинникова В.Д.* Проблема утилизации отходов отбеливающей глины сланцевых производств и пути её решения // *Наука и образование: новое время*. Научно-методический журнал. 2021. № 1. С. 4–8.
18. *Кембаев А.Р., Бимбетова Г.Ж., Маренов Б.Т., Токсамбаева Р.К.* Мұнайгаз ұңғымаларына шегендеу бағаналарын бекіту үшін тампонажды коспаларды қолдану / *А.Р. Кембаев*, // *Вестник науки Южного Казахстана*. 2022. № 3. Р. 15–19.
19. *Иконникова Н.Д.* Изучение пластичности глины, свойства глины, пластичность глины // *Инновации. Наука. Образование*. 2022. № 52. С. 664–669.
20. *Хакимова Н.К., Низомов А.Б., Хакимов Ш.Ш., Мажидов К.Х.* Оптимизация мощности очистительных отделений маслоэкстракционных предприятий // *Universum: технические науки*. 2020. № 7–2(76). С. 32–35.
21. *Морозова И.М., Мазурова Н.Н., Морозов И.М.* Биохимический состав семян масличных культур, используемых при производстве кормовой продукции // *Веснік Віцебскага дзяржаўнага універсітэта*. 2022. № 1. С. 48–53.
22. *Стрелков А.К., Базарова А.О., Теплых С.Ю.* Методика оценки эффективности применения биопрепарата на сточных водах маслоэкстракционного производства // *Градостроительство и архитектура*. 2022. Т. 12. № 3(48). С. 28–33. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2022.03.04>
23. *Горелова О.М., Куртукова Л.В.* Поиск путей утилизации отходов в производстве растительных масел // *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2019. № 2(50). С. 232–237.

24. Дубовиков О.А., Бричкин В.Н., Николаева Н.В., Ромашев А.О. Исследование процесса термохимического обогащения бокситов Среднего Тимана // Обогащение руд. 2014. № 4. С. 14–18.
25. Povarov V.G., Kopylova T.N., Sinyakova M.A., Rudko V.A. Quantitative determination of trace heavy metals and selected rock-forming elements in porous carbon materials by the X-ray fluorescence method // ACS Omega. 2021. V. 6. № 38. P. 24595–24601. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c03217>
26. Харченко А.И., Алексеев В.А., Харченко И.Я., Алексеев А.А. Применение шлакощелочных вяжущих в технологии струйной цементации для усиления грунтов // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 6(129). С. 680–689. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.6.680-689>.
27. Шлыков Н.Д. Влияние насыпной плотности цемента на прочность бетона // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2(53). С. 49.
28. Соколов Д.А., Дмитриевская И.И., Паутова Н.Б. и др. Исследование стабильности почвенного органического вещества методами дериватографии и длительной инкубации // Почвоведение. 2021. № 4. С. 407–419. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21040146>
29. Пашкевич М.А., Быкова М.В. Методология термодесорбционной очистки локальных загрязнений почв от нефтепродуктов на объектах минерально-сырьевого комплекса // Записки Горного института. 2022. Т. 253. С. 49–60. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.6>
30. Eyyubova E.J., Nagiyev Kh.J., Mammadov S.E. Adsorption of Fe (III) ions on modified adsorbent: Adsorption isotherms // Azerbaijan Chemical Journal. 2022. № 4. P. 33–42. <https://doi.org/10.32737/0005-2531-2022-4-33-42>
31. Курдюмов В.Р., Тимофеев К.Л., Мальцев Г.И., Лебедь А.Б. Сорбционное извлечение ионов никеля (II) и марганца (II) из водных растворов // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 209. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.2.209>

32. Черемисина О.В., Пономарева М.А., Молотилова А.Ю., Машукова Ю.А., Соловьев М.А. Сорбционная очистка вод кислотонакопителя от железа и титана на органических полимерных материалах // Записки Горного института. 2023. Т. 264. С. 971–980. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.28>
33. Ульяева Г.А., Ким В.А. Дифференциально-термический анализ различных видов углеродсодержащих восстановителей // Кокс и химия. 2019. № 8. С. 31–36.
34. Османова А.А., Гейдаров А.А., Джаббарова З.А., Алышанлы Г.И. К вопросу термического разложения $VOSO_4 \cdot 3H_2O$ // Металлы. 2022. № 5. С. 17–22.
35. Фомина Н.Н., Исмагилов А.Р. Исследование дисперсности пигментов и наполнителей лакокрасочных материалов // Эксперт: теория и практика. 2020. № 3(6). С. 74–79. <https://doi.org/10.24411/2686-7818-2020-10029>.
36. Герасимова Л.Г., Николаев А.И., Щукина Е.С., Сафонова И.В. Минеральные отходы обогащения апатит-нефелиновых руд – сырьевой источник получения функциональных материалов // Горный журнал. 2020. № 9. С. 78–84. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.11>
37. Ольшанская Л.Н., Лазарева Е.Н., Татаринцева Е.А. и др. Гальваношламы – источник вторичных материальных ресурсов при получении пигментов–наполнителей для лакокрасочных изделий // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 89–95. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-2-089-095>
38. Свергузова С.В., Старостина И.В., Тарасова Г.И. и др. Оценка качества пигментов-наполнителей на основе ХОЖК с помощью регрессионного анализа // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 6. С. 74–76.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Рентгеновские порошковые дифрактограммы: а) нативной (НГ), б) ОГ250, в) ОГ350, г) ОГ500, д) ОГ600. ▲ – калиевые полевые шпаты, ● – пирофиллит, ◆ – палыгорскит, I – монтмориллонит, ✕ - кварц, ✓ – каолинит, ✦ – арагонит, ⬆ – галлуазит.

Рис. 2. Кривые ТГ и ДСК для отработанной отбеленной глины.

Рис. 3. Изменения количества оксида алюминия при нагревании отхода отбеленной глины.

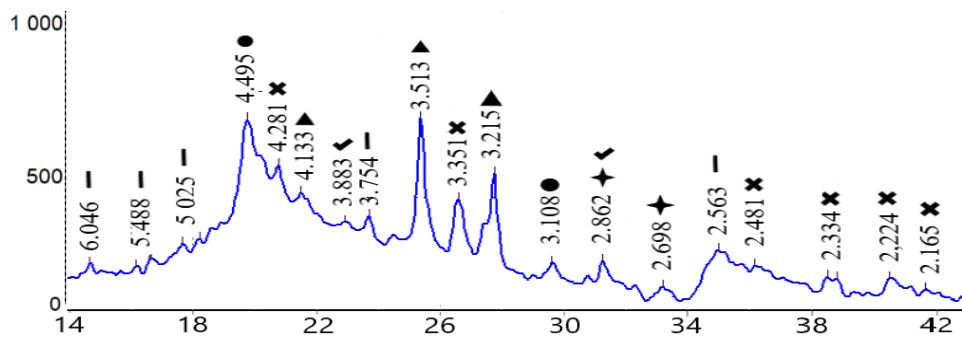
Рис. 4. Микрофотографии отработанной отбеленной глины: а) ОГ250; б) ОГ350.

Рис. 5. Изотермы адсорбции МГ ОГ350, ОГ250 и ОГ500.

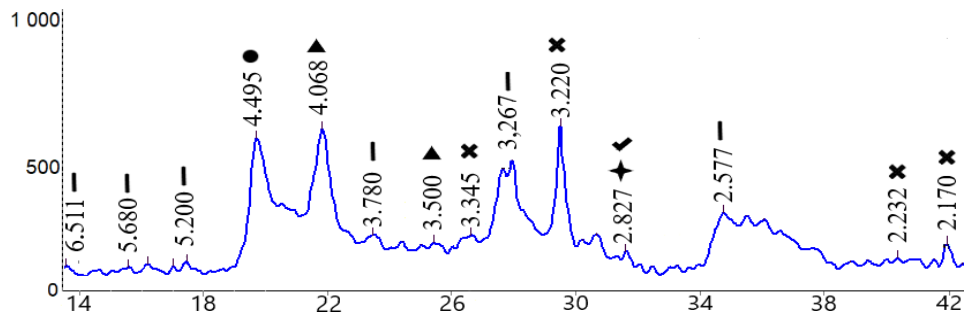
Рис. 6. Зависимость ξ – потенциала поверхности частиц отбеленной глины, обожженной при 350°C, от величины рН.

Рис. 7. График зависимости эффективности очистки растворов МГ от температуры обжига ООГ.

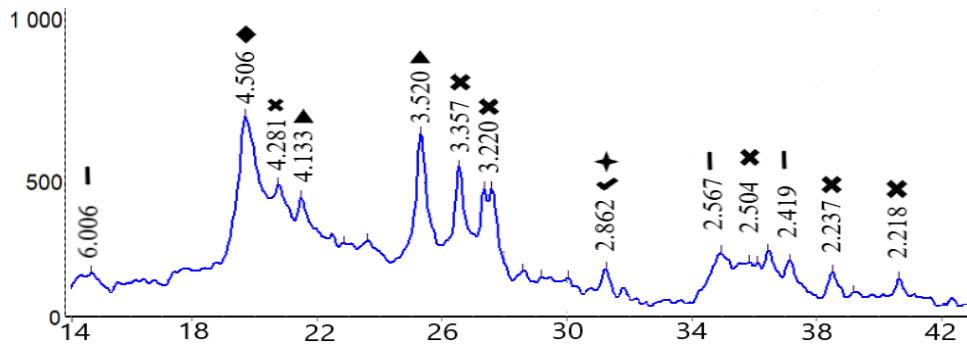
Рис. 8. Зависимость эффективности очистки растворов МГ от размера частиц ООГ350.



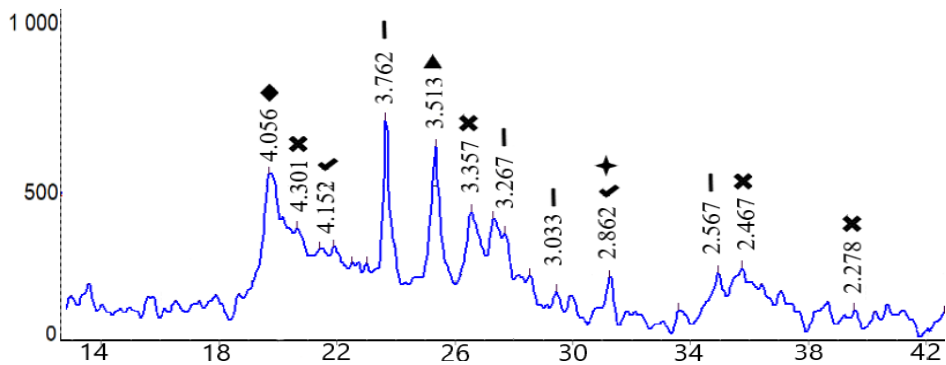
a)



b)



B)



r)

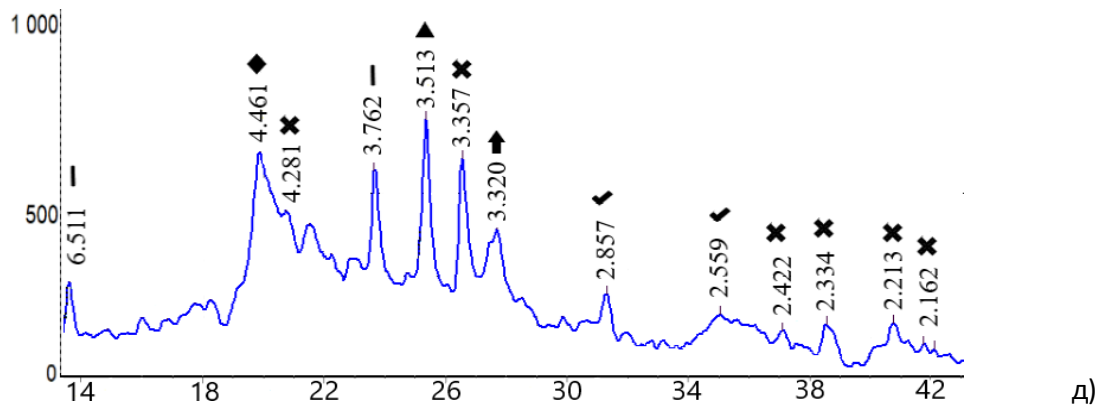


Рисунок 1. Свергузова

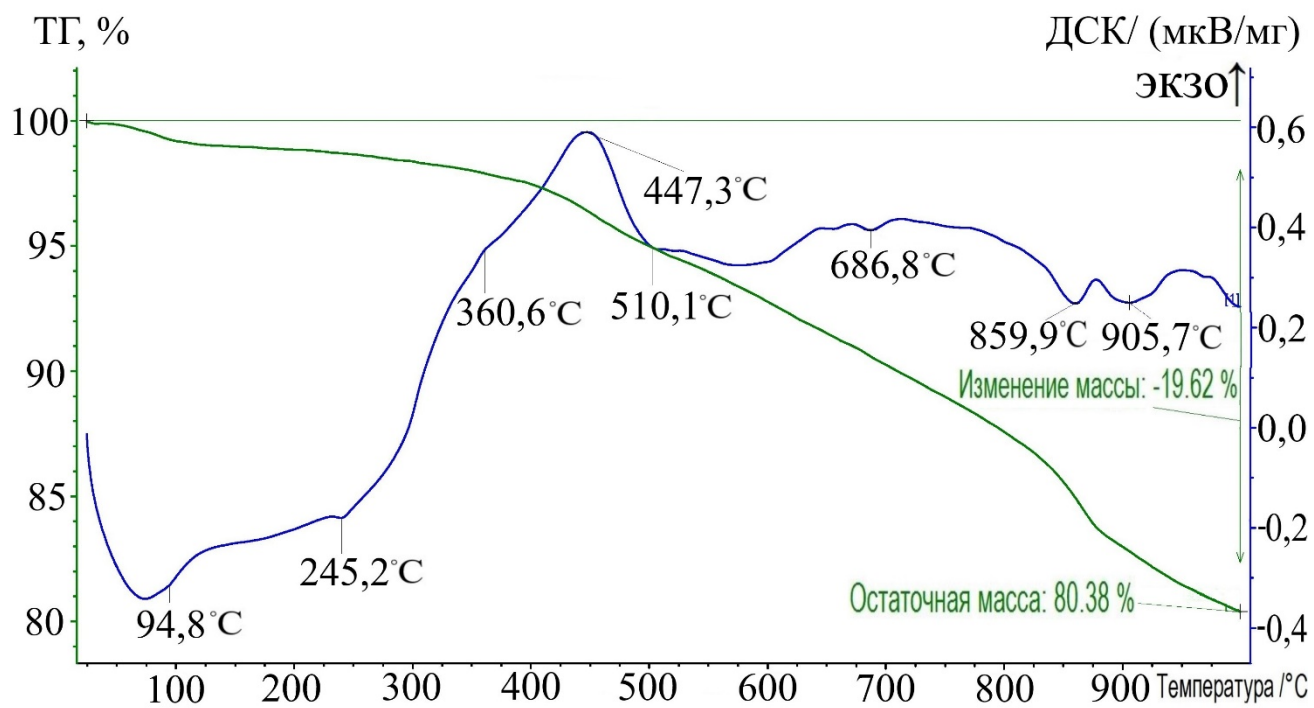


Рисунок 2. Свергузова

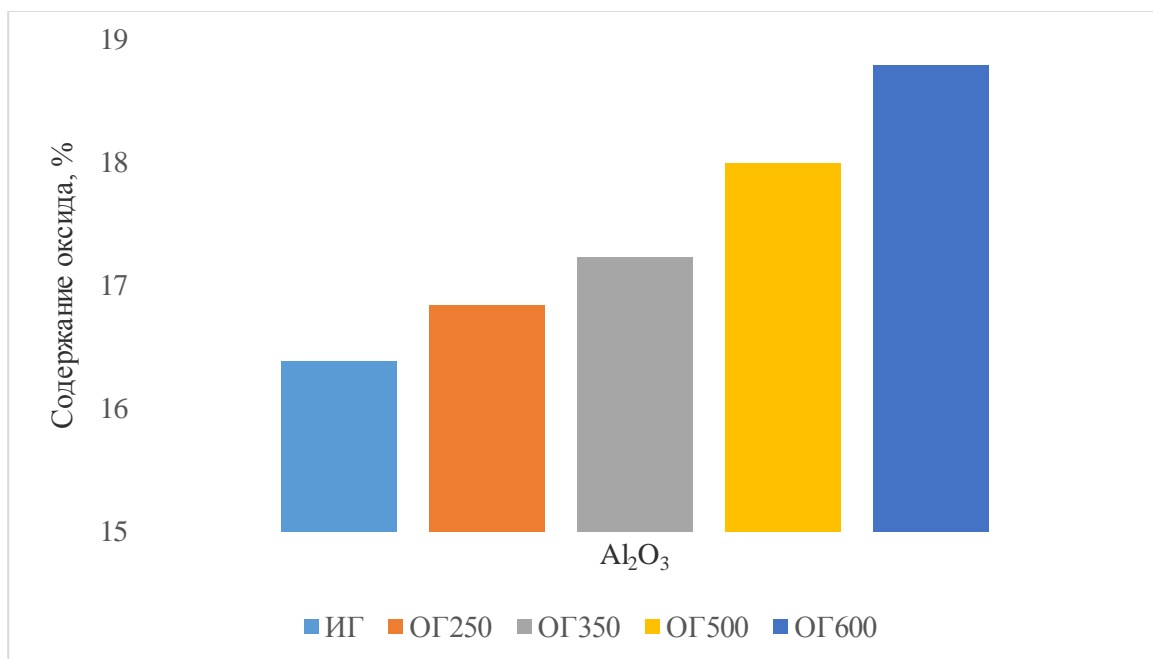
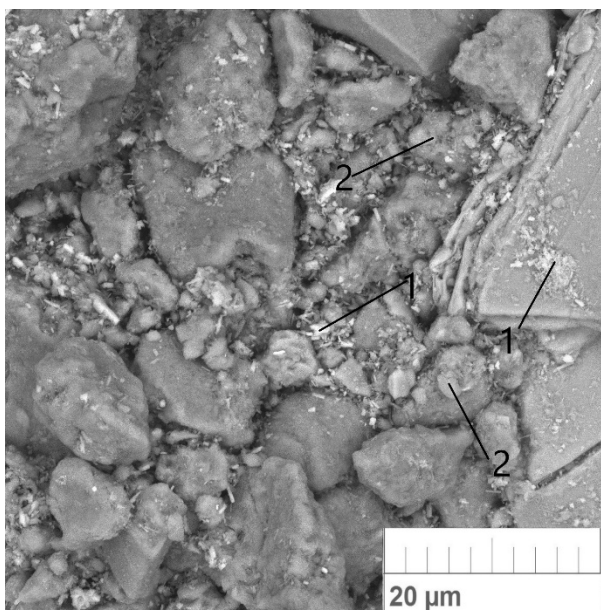
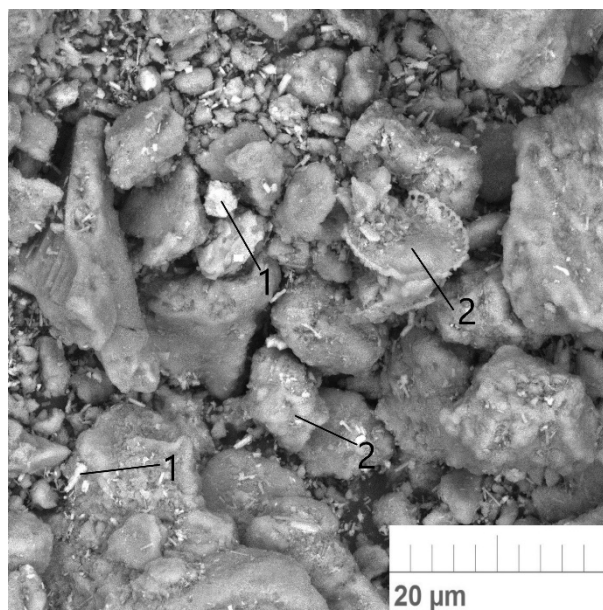


Рисунок 3. Свергузова



а)



б)

Рисунок 4. Свергузова

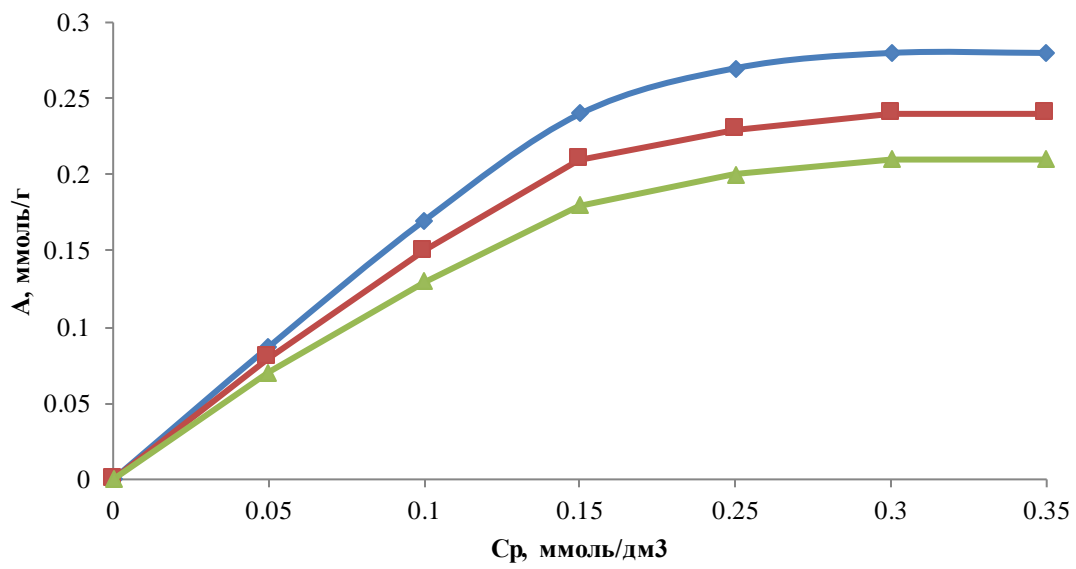


Рисунок 5. Свергузова

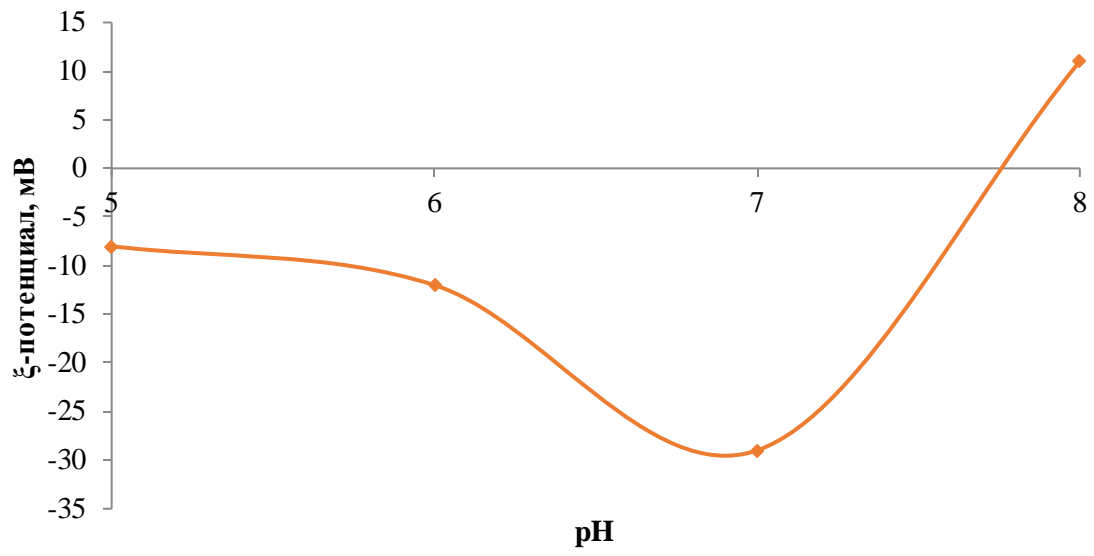


Рисунок 6. Свергузова

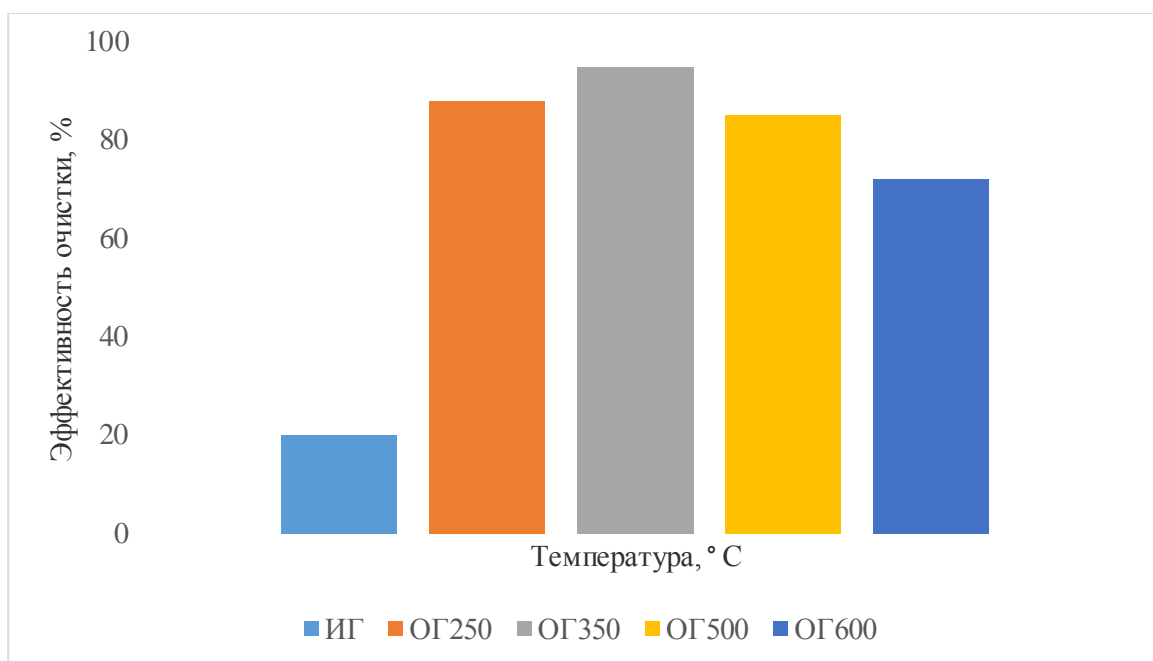


Рисунок 7. Свергузова

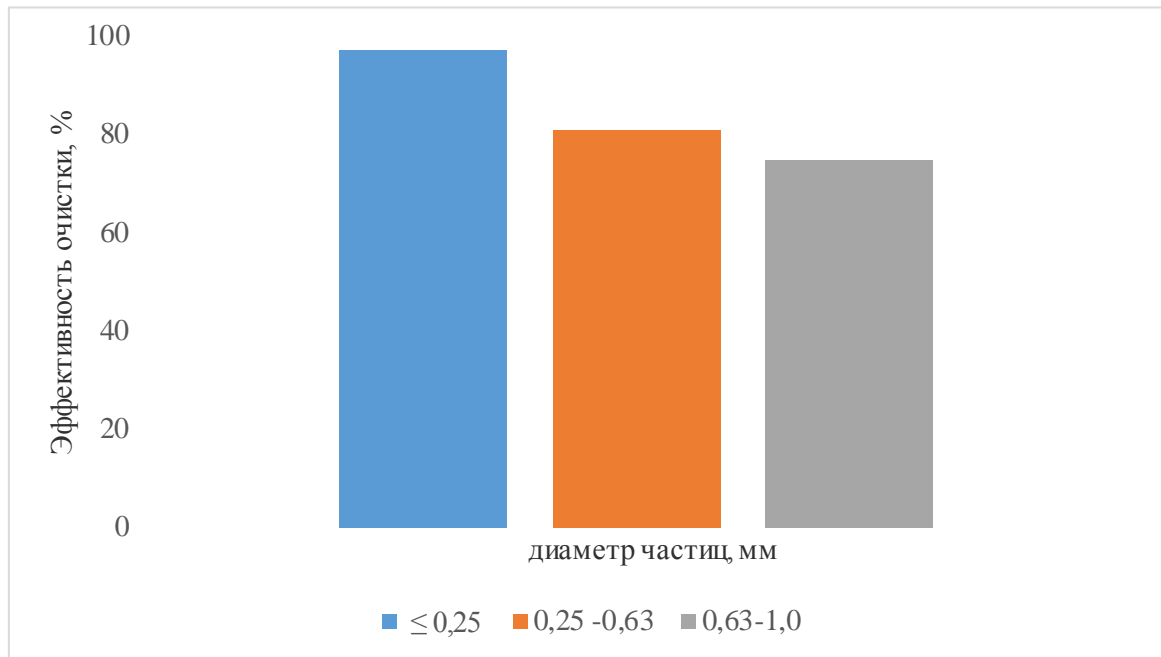


Рисунок 8. Свергузова