

АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА

На правах рукописи

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРИРОДНЫХ
АДСОРБЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ**

Специальность: - 3303.01 Химическая технология и инженерия

Отрасль науки: - Технические науки

Соискатель: **Закиева Ильхама Гашим кызы**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора философии

Баку - 2022

Диссертационная работа выполнена в лаборатории «Физика и Техника высоких напряжений», Института Физики Национальной Академии Наук Азербайджана

Научный руководитель: Доктор технических наук, академик
Гашимов Ариф Мамед оглы

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, академик
Алиев Агададаш Махмуд оглы

Доктор технических наук, профессор
Самедов Мухтар Мамед оглы

Доктор технических наук, доцент
Мурсалов Низами Ибрагим оглы

Диссертационный совет ED 1.17 Высшей Аттестационной Комиссии при Президенте Азербайджанской Республики, действующий на базе Института Нефтехимических Процессов им. академика Ю.Г. Мамедалиева НАН Азербайджана.

Председатель диссертационного совета:

Доктор химических наук, академик
Аббасов Вагиф Магеррам оглы

Ученый секретарь диссертационного совета:

Доктор философических наук по технике, доцент
Агамалиев Заур Забил оглы

Председатель научного семинара:

Доктор технических наук, доцент
Алиева Сяйяра Гулам кызы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и степень изученности темы.

Загрязнение воды, является важной составляющей всего живого на Земле – проблема мирового масштаба. В данный момент основной причиной загрязнения водных бассейнов является сброс в водоемы неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод промышленными, текстильными, кожевенными предприятиями, мыловаренных цехов, коммунальным и сельским хозяйством. Растущие темпы промышленного производства отрицательно влияют на экологическое состояние среды, в том числе на чистоту водных бассейнов, загрязняя их отходами. Основными существующими методами очистки вод являются химические методы, включающие применение различных химических реагентов, которые сами являются экологически вредными: хлорирование воды, применение большого количества коагулянтов, нежелательно обогащающих воду сульфатами, хлоридами и другими веществами.

Одним из путей решения проблем, связанных с энергосбережением и экологической безопасностью, является модернизация промышленного производства на базе новых усовершенствованных технологических процессов, с одной стороны, а с другой, рациональное использование материальных и энергетических ресурсов. Ведутся поиски новых, более эффективных технологических операций по очистке воды, исключающих применение реагентов. Среди них методы, включающие использование твердых адсорбентов, в том числе неорганической природы, таких как природные и синтетические цеолиты, силикагели и другие материалы, которые не загрязняют очищаемые воды, а также методы, использующие внешние физические воздействия на процесс водоочистки, воздействие электрическими разрядами на процессы адсорбции.

Применение электрических методов - достаточно новое и прогрессивное в технологии очистки воды. Как показывает развитие этого направления, электрические методы обладают существенными преимуществами перед традиционными методами

обработки. В первую очередь, они дают возможность отказаться от применения реагентов и необходимого хозяйства для реализации этого применения. Способность электрических разрядов оказывать сильное влияние на различные технологические процессы, управлять свойствами материалов, обусловила их широкое использование.

В настоящее время одной из важнейших задач, представляющих интерес для науки и практики, является изучение влияния электрического поля и разрядов различного происхождения на сорбционные процессы. Одной из перспективных сфер применения электрических полей и разрядов является активация и модифицирование поверхности или объема, стимулирование адсорбционных процессов.

Эффективность воздействия электрического разряда на адсорбционные процессы определяется возможностью прямого вмешательства в протекание адсорбционного процесса с малой энергоемкостью, экономичностью, технологичностью. В случае материалов, представляющих собой комбинированные структуры, содержащие в поверхностном слое органические и неорганические компоненты, большой эффективностью обладает их модифицирование воздействием электрических разрядов. К таким разрядам относятся коронный, барьерный, факельный разряды.

В связи с большими запасами природного цеолита в республике и научной информацией об интенсифицирующем воздействии различных электрических разрядов на технологические процессы, разработка новых технологий модифицирования адсорбентов с использованием электрической энергии является актуальной.

Объект и предмет исследования. Предметом исследования являлось модифицирование природных адсорбентов Айдагского месторождения, в Азербайджане крупное Айдагское месторождение находится в Товузском районе, запасы которого составляют около 28 млн. тонн, а также синтезированный однофазный цеолит. Выбор объектов исследования основан тем, что природные цеолиты представляют собой сравнительно дешевые и доступные микропористые тела, которые находят все

возрастающее применение на практике. Выбор однофазного синтезированного цеолита обоснован на том, что в отличие от многофазных адсорбентов, у которых процессы адсорбции протекают по каждой фазе неодинаково, что затрудняет их анализ, однофазные адсорбенты позволяют получить информацию об адсорбционных механизмах, характеризующих конкретный вид адсорбента. Выбор предмета исследования определяется экологическим требованием охраны окружающей среды с целью улучшения адсорбционной способности для применения их в процессах очистки промышленных сточных вод.

Цель и задачи диссертационной работы. Основной целью работы является модифицирование поверхности природных адсорбентов при воздействии электрических разрядов, выявление физико-химических механизмов сорбционных процессов осуществляемых в условиях воздействия электрических разрядов и на основе полученных результатов разработка нового эффективного адсорбционного процесса очистки промышленных сточных вод.

Для достижения данной цели в диссертационной работе были поставлены и решены следующие основные задачи:

- исследовано воздействие электрических разрядов на поверхность природных адсорбентов и синтезированного однофазного адсорбента;
- изучен механизм воздействия различных разрядов на поверхность и структуру природного и синтезированного однофазного адсорбента;
- исследованы диэлектрические параметры композита на основе природного цеолита, обработанного электрическим разрядом;
- выбраны оптимальные характеристики воздействующих электрических разрядов на поверхность природного адсорбента;
- исследован процесс очистки сточных вод с помощью методов разработанных в работе.

Методы исследования. При выполнении работы были использованы электрические разряды, такие как коронный, барьерный и факельный для модификации поверхности природного и синтезированного адсорбента. Для определения

электрического заряда на поверхности цеолита, обработанного электрическим разрядом, был использован метод термостимулированной релаксации, который измеряется и записывается в функции температуры и времени с помощью двухкоординатного самописца ЭНДИМ. Зависимость изменения удельного электрического сопротивления природного цеолита от степени увлажнения измерялась тераомметром Е6-13А. С целью выявления воздействия режимов электрического разряда на электрофизические и структурные изменения характеристик композита, был сделан рентгенографический анализ, который был выполнен на дифрактометре Advance D8. Измерения электрофизических параметров композитного материала на основе природного цеолита, подверженного воздействию электрических разрядов проводилось с помощью цифрового измерителя иммитанса Е7-20.

Разработана, предложена и спроектирована принципиальная технологическая схема установки для очистки сточных вод промышленных предприятий с использованием природных адсорбентов, подверженных различным видам электрического разряда.

Основные научные положения, представленные на защиту:

- Разработанная методика модифицирования поверхности природного адсорбента при воздействии электрических разрядов.
- Установление заряженного состояния адсорбентов подвергнутых воздействию электрических разрядов.
- Рентгенографические результаты, подтверждающие усовершенствование кристаллической структуры адсорбентов подвергнутых электрическим воздействиям.
- Зависимость плотности накопленного электрического заряда в адсорбенте от размера его частиц после воздействия барьерным разрядом.
- Новые электрофизические характеристики и диэлектрические параметры композитного материала на основе обработанного электрическим разрядом природного адсорбента–шабазит и неполярного полиэтилена ПЭ.

- Новый эффективный адсорбционный метод очистки промышленных сточных вод, адсорбентов подвергшихся воздействию электрического разряда.

Научная новизна работы. В диссертационной работе впервые были проведены следующие работы:

- разработана методика модифицирования поверхности природного и синтезированного однофазного адсорбента при воздействии коронного, барьерного и факельного разрядов;
- изучено заряженное состояние природного и синтезированного однофазного адсорбента, образованного в результате воздействия коронного, барьерного и факельного разрядов методом термостимулированной релаксации (ТСР);
- установлено, что при воздействии коронного, барьерного, факельного разряды как на природный, так и на синтезированный однофазный адсорбент значительно повышается их адсорбционная способность;
- выявлены структурные изменения, изменения электрических характеристик, увеличение степени кристалличности и интенсивности рентгеновских спектров, появление дополнительных пор композита на основе природного цеолита, обработанного электрическим разрядом.

Практическая и теоретическая значимость работы:

На основании полученных результатов разработан новый эффективный процесс адсорбционной очистки сточных вод промышленных производств с использованием природного адсорбента, активированного различными видами электрического разряда. Для получения информации о характере и закономерностях процессов активации поверхности природного адсорбента при воздействии сильных электрических полей была разработана методика проведения работ в условиях воздействия электрических разрядов различного происхождения.

Публикации и апробация диссертационной работы. По материалам диссертации опубликовано 25 научных трудов, в том числе 13 статей в отечественных и зарубежных журналах, 11 в Международной научно-практической конференции и 1-го тезиса. Научные статьи опубликованы в следующих научных

журналах: «Журнал Технической Физики», «Электронная обработка материалов», «Физика и Химия обработки материалов», «Энергетика»; «AMEA-nin Xəbərləri», «Журнал Проблемы Энергетики», «Физика».

Основные результаты диссертационной работы также обсуждались на международной конференции «Second International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering» (ICTPE) в 2004 г. (Тебриз, Иран); на «Third International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering» в 2006 г. (Анкара, Турция); на «4-th International Conference on TPE» в 2008 г. (Питешть, Румыния); в 2009 г. на «5-th International Conference on TPE» (Бильбао, Испания); а также докладывались на научной конференции аспирантов Национальной Академии Наук Азербайджана в Баку 2009 года; в 2010 г. на «6-th International Conference on TPE» (Тебриз, Иран); на «7-th International Conference on TPE» в 2011 г. (Лефкоша, Кипр), на Международной научно практической конференции молодых ученых и специалистов Национальной Академии Наук Азербайджана в 2014 г. (Баку); на научно – практической конференции «Современные проблемы использования и управления водными ресурсами в Азербайджане» в 2015 г. (Баку), на «11-th International Conference on TPE» в 2015 г. (Бухарест, Румыния), на «12-th International Conference on TPE в 2016 года (Бильбао, Испания) и 2019 на «15-th ICTPE» (Стамбул, Турция).

Место проведения диссертационной работы.

Представленная работа является частью плановых научных исследований, проводившихся в Институте Физики Национальной Академии Наук Азербайджана по теме «Развитие научных основ применения сильных электрических полей и разрядов в технологических процессах».

Личное участие автора. Автором обозначены основные цели исследования и задачи для их достижения, определены направления исследований, проведена обработка, систематизация и обсуждение научно-практических результатов. Автор принимал непосредственное участие в постановке и проведении лабораторных экспериментов.

Объем, структура и основное содержание диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения (17951) и четырех глав: I глава (47242), II глава (27742), III глава (58260), IV глава (21437), основных выводов и результатов (2370), изложена на 156 страницах, включая 40 рисунка, 11 таблиц и список цитируемой литературы из 117 наименования, включая работы автора. Общее количество знаков составляет 178608.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность избранной темы, сформулированы цели и основные задачи исследований, отмечены научная и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, и кратко изложено основное содержание диссертационной работы.

1. Модификация поверхности природных адсорбентов при воздействии электрических разрядов. В первой главе приведен литературный обзор работ, посвященных современному состоянию адсорбционных процессов на границе жидкость - твердое тело, а также дан анализ технической литературы по воздействию различных видов электрических разрядов на твердые поверхности, сорбционные процессы. В обзоре подробно описаны процессы, происходящие на поверхности сорбентов, механизм адсорбции, структура поверхности различных адсорбентов. Известно, что в процессе адсорбции действуют силы, аналогичные природе сил участвующих в химическом взаимодействии, что на поверхности адсорбентов имеются участки со свободными остаточными валентностями. Если адсорбируемая молекула попадает на соответствующий незанятый активный центр поверхности, то молекула связывается с последней. Под действием разряда молекулы веществ ионизируются, и процесс связывания с поверхностью адсорбента облегчается.

Известно более 30 видов природных цеолитов и их месторождения, удобные для промышленной переработки. Наиболее распространенные природные цеолиты: шабазит, мордент, клиноптилолит. Модифицирование поверхности и

структуры пористых материалов повышает селективность адсорбентов, является одним из направлений регулирования их структурных и физико-механических характеристик.

Исследовалось электроразрядное модифицирование некоторых диэлектрических и композиционных материалов, при котором происходят изменение их объемных свойств, а именно, возникновения зарядового состояния в неорганических пористых адсорбентах и их полимерных композициях. Образование заряженного состояния изучалась в неорганических пористых адсорбентах - силикагели марки КСМ, цеолите клиноптилолите и полимерной композиции – природного адсорбента и полиэтилена (ПЭ).

Также подробно рассмотрены разнообразные виды технологического воздействия на материалы, особый интерес из которых представляет электротехнология. На основании анализа литературных данных сформулирована постановка задачи.

2. Методика проведения исследований активации поверхности природного адсорбента при воздействии электрических разрядов. Вторая глава содержит описание экспериментальной установки и обоснование выбора предмета и методов исследования. Описаны разработанные методики модифицирования поверхности природного и однофазного синтезированного адсорбента при воздействии различных электрических разрядов. Рассмотрены вопросы выбора адсорбентов, вида и режимов электрического воздействия на адсорбент. Изложен, разработанный метод анализа зарядового состояния адсорбентов, рентгенограмма, термостимулированная релаксация (ТСР), вольтамперная характеристика (ВАХ).

Представлены лабораторные установки со специально сконструированными адсорберами и электрическими схемами, позволяющими получить различные виды разряда. Описываются принципиальные технологические схемы установки для очистки сточных вод различных промышленных производств. Опыты проводили без наложения электрического разряда и в поле различных разрядов при выбранном интервале напряжения. Для

активации выбранных объектов использовалось несколько видов разряда: барьерный, коронный и факельный.

Барьерный разряд возбуждается в узкой полости между двумя электродами. Для ограничения плотности тока и равномерного распределения разряда вдоль электродов в рабочую зону разряда вводится диэлектрик, которым при достаточной толщине может стать и сам обрабатываемый материал. Барьерный разряд обладает большой технологичностью, так как позволяет обрабатывать относительно большие поверхности материалов, протягиваемых через разрядный промежуток. Для получения барьерного электрического разряда использован реактор, конструктивно представляющий собой систему из двух коаксиальных стеклянных цилиндров, вставленных один в другой. В пространстве между двумя цилиндрами помещались исследуемые адсорбенты. Длина реактора 130 мм, длина разрядного промежутка 4 мм. Активная зона при барьерном разряде сосредоточена непосредственно у поверхности адсорбента. Активация адсорбента проводилась при переменном напряжении $U=15\text{кВ}$, ток разряда $I=70\text{мкА}$, длительность времени активации $\tau=1$ час.

Электрический коронный разряд внутри адсорбера с резко неоднородной конфигурацией поля возникает при напряжении на электродах $U=11\text{кВ}$. Главной особенностью коронного разряда является то, что ионизационные процессы происходят не по всей длине промежутка, а только в небольшой его части вблизи электрода с малым радиусом кривизны. Эта зона характеризуется значительно более высокими значениями напряженности поля по сравнению со средними значениями для всего промежутка, коронный разряд происходит в электроде между плоскостью и иглой. Напряжение больше на игле чем на плоскости, и тем самым менее эффективный, чем барьерный разряд. Условия активации адсорбента были следующие: напряжение $U=13\text{кВ}$, ток разряда $I=40\text{мкА}$, время активации $\tau=1$ час. Перед электризацией образцов сорбента на двух противоположных его сторонах ошлифовывались площадки, на которые методом термовакуумного напыления

наносились алюминиевые электроды круглой формы диаметром 3 мм и толщиной (3-4) микрона

Факельный разряд одноэлектродный - высокочастотный разряд, зона ионизации охватывает весь межэлектродный промежуток. При факельном разряде, в отличие от коронного, зона ионизации охватывает весь межэлектродный промежуток, а в отличие от барьерного, может заполнять большие объемы газа с помощью специальных устройств многофакельной обработки. Это делает факельный разряд особо перспективным для обработки материалов в диспергированном виде (порошков). Условия активации адсорбента под воздействием факельного разряда: величина приложенного напряжения при постоянном напряжении $U = 15$ кВ; ток разряда $I = 70$ мкА; время воздействия разряда на адсорбент $\tau = 1$ час, расстояние между верхним электродом до поверхности таблеток $d = 5$ см.

Для выявления заряженного состояния в адсорбенте был использован метод термостимулированной релаксации (ТСР), заряженное состояние фиксировали на приборе ЭНДИМ.

3. Исследование воздействия электрического разряда на электрофизические свойства природного адсорбента. В третьей главе излагаются результаты исследования воздействия различных электрических разрядов на состояние поверхности и электрофизические свойства природного и синтезированного адсорбента. Показаны результаты исследований по образованию заряженного состояния в природных цеолитах под воздействием электрического барьерного, коронного и факельного разрядов.

Воздействие сильных электрических разрядов в образцах адсорбента приводит к электрической зарядке, усовершенствованию кристаллической структуры, очищению заблокированных различными примесями входных окон в пустотах каркаса цеолита, образованию заряженного состояния на поверхности, как природного цеолита, так и синтезированного однофазного цеолита и локальному накоплению заряда на поверхности образцов адсорбента. Этот факт еще раз подтвержден методом термостимулированной релаксации.

Установлено, что в процессе электроразрядной обработки образцов образуются дополнительные центры, что приводит к росту объема сорбирующих пор сорбентов, тем самым способствует значительному повышению их адсорбционной способности.

Теоретический анализ формирования заряженного состояния в исследуемых пористых диэлектрических адсорбентах показал, что такое заряженное состояние образуется через диффузионный механизм внедрения зарядов в структуру материала. Были получены значения коэффициента диффузии, величина которого находится в промежутке между величинами диффузии нейтральных материалов в исследуемых адсорбентах и диффузии ионов в непористых идентичных материалах. Это позволило предложить модель процесса зарядки адсорбента, согласно которой захваченные наружной поверхностью адсорбента ионы диффундируют вглубь адсорбента вдоль его пор, приводя к его зарядке.

Для выявления причин повышения адсорбционной способности природного цеолита, исследовалось образование в них заряженного состояния, а также проведен рентгенографический анализ исходных и активированных адсорбентов. Анализ рентгенодифракционных картин показывает, что необработанный адсорбент имеет полукристаллическую структуру, кристаллический каркас которых содержит в значительной степени аморфных приесей, а в обработанных образцах, с увеличением времени электроразрядной обработки увеличивается степень очистки кристаллического каркаса от примесей, за счет процесса эмиссии с поверхности, что приводит к увеличению интенсивности рентгеновского рассеяния. А также анализ рентгеновских спектров показывает, что после обработки адсорбента, новые фазы не образуются. В частности показано, что при электрической обработке в материалах происходят такие процессы, как деструкция (разрушение), так и сшивка материала, а также в них имеют место процессы поляризации в электрическом поле, т.е. внедрение электрических зарядов непосредственно на поверхность или в объем материала. Наряду с другими эффектами

в обрабатываемых материалах появляются дополнительные пустые поры, т.е. количество пор увеличивается. О том, что в обработанных адсорбентах увеличивается количество пор, свидетельствует уменьшение диэлектрических параметров, таких как емкость, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери и др. Рост кристалличности адсорбента обусловлен как с увеличением процентного содержания кристаллической фазы в результате разрушения аморфной фазы, так и образованием новых кристаллических структур.

Особенностью барьерного разряда является локальное накопление заряда на поверхности диэлектрического барьера в процессе развития каждой отдельной искры, что и выявлено методом ТСР на адсорбентах (рис.2 а, б, в).

Были сняты спектры термостимулированной релаксации в барьерном разряде переменного напряжения для клиноптилолита (рис.2.а), природного шабазита (рис.2.б) и однофазного адсорбента (рис.2.в).

Соответствующие заряды составляют:

Клиноптилолит:

$T_1=350^\circ\text{C}$ $Q_1=2,9 \cdot 10^{-5}$ Кл; $T_2=400^\circ\text{C}$ $Q_2=3 \cdot 10^{-5}$ Кл;
 $T_3=420^\circ\text{C}$ $Q_3=1,3 \cdot 10^{-5}$ Кл; $T_4=510^\circ\text{C}$ $Q_4=2,7 \cdot 10^{-5}$ Кл.

Природный шабазит:

$T_1=320^\circ\text{C}$ $Q_1=1,1 \cdot 10^{-6}$ Кл; $T_2=370^\circ\text{C}$ $Q_2=4,1 \cdot 10^{-7}$ Кл;
 $T_3=500^\circ\text{C}$ $Q_3=5,6 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Однофазный шабазит:

$T_1=300^\circ\text{C}$ $Q_1=7,5 \cdot 10^{-7}$ Кл; $T_2=320^\circ\text{C}$ $Q_2=7,5 \cdot 10^{-7}$ Кл,
 $T_3=370^\circ\text{C}$ $Q_3=2,6 \cdot 10^{-7}$ Кл; $T_4=510^\circ\text{C}$ $Q_4=2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Методом ТСР выявлено, что при воздействии электрического барьерного разряда на природные и однофазный цеолиты, наблюдается образование заряженного состояния, свободное движение заряженных частиц на поверхности

адсорбента и локальное накопление заряда на поверхности образцов адсорбента.

Для выяснения образования локализованных зарядов при воздействии электрического разряда на адсорбент, были проведены исследования образцов порошкообразного клиноптилолита с различными размерами частиц в поле барьерного разряда.

Полученные данные о зарядовых состояниях в образцах с различными размерами частиц представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значения накопленного заряда в образцах с различными размерами частиц

№	d, мм	T ₁ , °C	T ₂ , °C	T ₃ , °C	T ₄ , °C	Q ₁ , Кл/см ²	Q ₂ , Кл/см ²	Q ₃ , Кл/см ²	Q ₄ , Кл/см ²
1	0,4	280	380	420	500	$5,3 \cdot 10^{-8}$	$5,3 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-9}$
2	0,25	320	420	510		$5,7 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$	
3	0,063	290	420	480		$6,9 \cdot 10^{-6}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	

Из таблицы 1 видно, что с уменьшением размера частиц образцов количество заряда, накопленного в них воздействием электрического разряда, увеличивается. Этот факт объясняется тем, что с уменьшением размеров частиц адсорбента увеличивается обрабатываемая электрическим разрядом поверхность, что приводит к увеличению накопленного в материале заряда¹.

¹Гашимов, А.М. Размерный эффект при образовании зарядового состояния в частицах природного клиноптилолита под воздействием электрического разряда / А.М.Гашимов, К.В. Гурбанов, Р.Н. Мехтизаде, И.Г. Закиева, М.А. Гасанов// Электронная обработка материалов, - Кишинев: - 2014. Т. 50, №5, с.88-91.

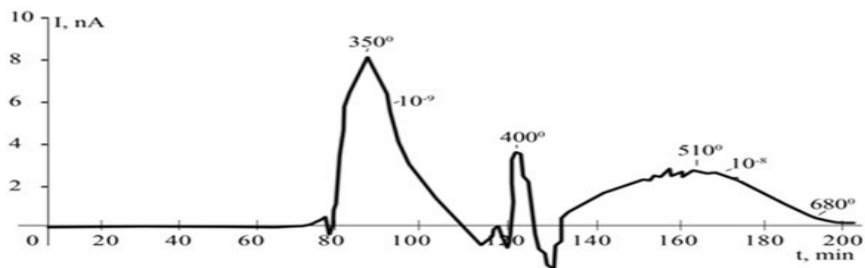


Рис.2 (а). Кривая зависимости термостимулированного тока от времени для клиноптилолита, обработанного барьерным разрядом.

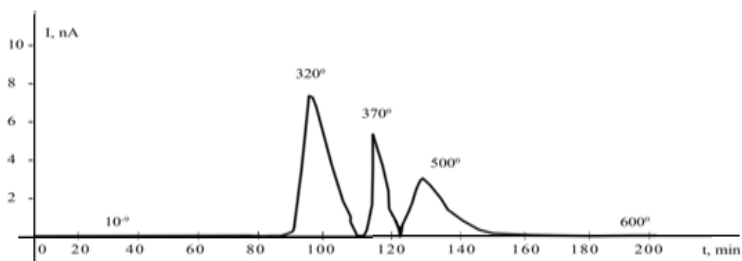


Рис.2(б). Кривая зависимости термостимулированного тока от времени для природного шабазита, обработанного барьерным разрядом.

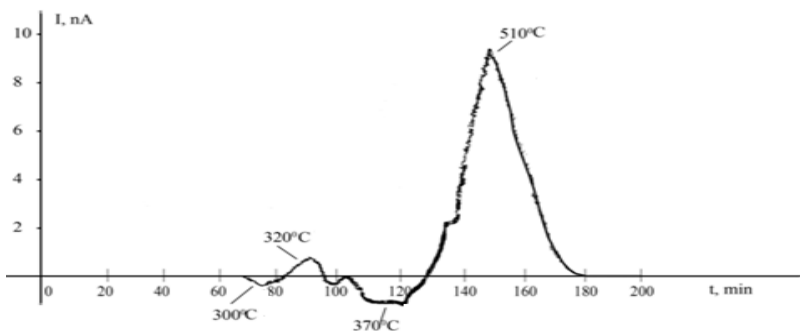


Рис.2(в). Кривая зависимости термостимулированного тока от времени для однофазного шабазита, обработанного барьерным разрядом.

На основе рентгенографического и физического анализа было установлено, что процессы поляризации, внедрения электрических зарядов непосредственно на поверхность или в объем материала приводят к появлению на поверхности или в объеме материалов связанных электрических зарядов, т.е. образуется заряженное состояние в материале.

Были проведены экспериментальные исследования по изучению диэлектрических параметров композита, синтезированного на основе, обработанного в электрическом поле барьерного разряда природного адсорбента и необработанного полиэтилена (ПЭ). Композиты были получены из гомогенной смеси порошков путем горячего прессования. Содержание компонентов композита: 20%шабазит+80%ПЭ.

На всех композитах при комнатной температуре $T=300\text{K}$ были сняты вольтамперные характеристики (ВАХ) (рис.3,4).

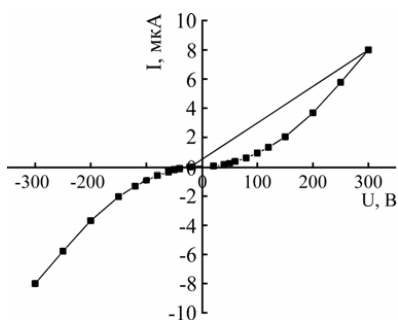


Рисунок 3. ВАХ необработанного образца ($U=200\text{В}$ $I_1=3\text{мкА}$).

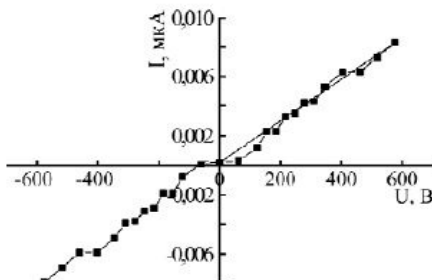


Рисунок 4. ВАХ обра. образцат₁=1час ($U=200\text{В}$ $I_2=0,002\text{мкА}$).

Как видно из рисунков зависимость величины тока $I=f(U)$ от значения приложенного напряжения носит нелинейный характер. При одинаковом значении приложенного напряжения $U=200\text{В}$, величины электрического тока сильно отличаются.

Величина тока в необработанных образцах 1500 раз больше, чем в образцах, обработанных в течение одного часа. Причиной высокого значения электрического тока в необработанном адсорбенте, является наличие различного рода дефектов, посторонних примесей в природном адсорбенте. Уменьшение значения электрического тока в композитах с обработанными адсорбентами свидетельствует о том, что обработка в электрическом разряде модифицирует электрофизические свойства адсорбента².

Для того чтобы дополнительно выяснить влияние электрической обработки на электрофизические свойства адсорбента была исследована зависимость электрического тока от времени воздействия приложенного напряжения (деградация-старение композита). Дегрaдация композитов исследовалась при постоянном напряжении $U=100\text{В}$ в течение 6 часов при комнатной температуре.

Результаты эксперимента приведены на рисунке 5 (а, б), из которых можно сделать следующие выводы: Величина тока в необработанных образцах рисунок 5 (а) с увеличением времени сильно уменьшается и носит экспоненциальный характер.

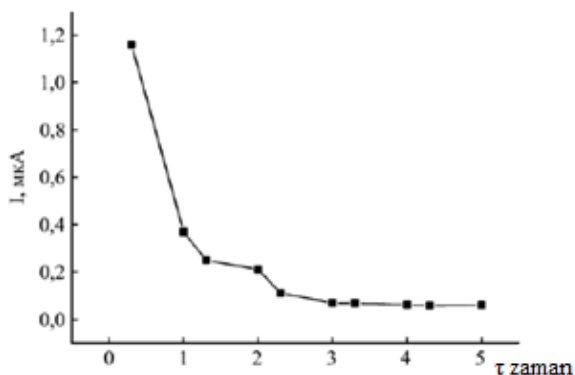


Рисунок 5 (а). Зависимость тока инжектированных зарядов от времени: а) необработанный адсорбент

²Гашимов, А.М. Влияние электрических обработок на электрофизические характеристики природного адсорбента / А.М.Гашимов, И.Г. Закиева //Электронная обработка материалов,- Кишинев:- 2016.Т. 52, №5, с. 58-62.

На рисунке 5 (б) величина тока в композитах на основе обработанного электрическим разрядом, в течение одного часова, с ростом времени сильно растёт, достигает максимального значения, а затем с ростом времени воздействия уменьшается.

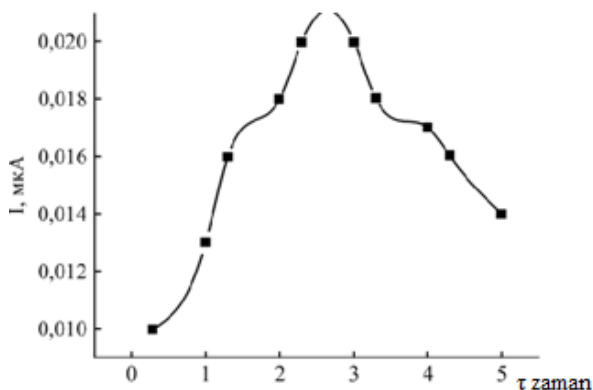


Рисунок 5 (б). Зависимость тока инжестированных зарядов от времени: б) обработанный электрическим разрядом адсорбент ($\tau_1=1$ час)

Уменьшение величины тока в исследуемом образце со временем свидетельствует о том, что электропроводность обусловлена зарядами (в том числе ионами) посторонних примесей, которые уменьшаются за счет электрической очистки материала. По мере движения зарядов вглубь композита, носители тока захватываются неравномерно расположенными мелкими ловушками, созданными различными примесями и дефектами структуры, в итоге уменьшается концентрация носителей тока и, как следствие, электропроводность композита.

Как видно из формулы (1) электропроводность определяется концентрацией и подвижностью носителей тока. Учитывая то, что в композитах величина подвижности мала, тогда в росте проводимости основную роль должно играть увеличение концентрации носителей тока.

$$\sigma = en\mu \tag{1}$$

где: e – заряд электрона; n – концентрация носителей тока; μ – подвижность носителей тока.

Как видно из рисунка 5 (а) по мере заполнения мелких ловушек зависимость $I=f(\tau)$ с ростом времени монотонно уменьшаясь, стабилизируется. Увеличение величины тока со временем рисунок 5 (б) свидетельствует об участии в композите зарядов, которые являются структурными элементами самого материала. Уменьшение величины тока после максимума $I=f(\tau)$, связано с захватом носителей заряда глубокими ловушками. Длительное воздействие приложенного напряжения может привести к пробое композита.

Анализируя результаты экспериментальных исследований, отметим, что при изучении транспортных характеристик неоднородных материалов важная роль отводится анализу дисперсии диэлектрических параметров материала (диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, электропроводимость и т.д.) зависимость эффективных значений диэлектрической проницаемости и коэффициента диэлектрических потерь от частоты чувствительны к соотношению между электрофизическими параметрами дисперсной фазы и матрицы, а также к форме включений и их ориентации во внешнем электрическом поле.

Для неоднородных матричных сред основным механизмом поляризации является поляризация Максвелла Вагнера. Это макроскопическая или поверхностная поляризация. Она связана с образованием на границе разнородных сред поверхностных заряженных слоев, возникающих при перемещении свободных зарядов в пределах отдельных фаз композитного материала под действием внешнего переменного электрического поля. Частотная зависимость диэлектрических параметров, а именно, составляющих комплексной диэлектрической проницаемости является характеристикой материала и определяется для каждого вещества не только свойствами молекул материала, но наличием и составом примесей.

Результаты расчетов зависимостей диэлектрических потерь от частоты и значений электропроводимости от частоты приведены на рисунке 6 и 7.

Путем сравнения рисунков были выявлены следующие особенности исследуемого композита на основе природного адсорбента и полиэтилена. При низких частотах величина диэлектрических потерь D в необработанном образце почти в 3 раз больше, чем D в обработанном. Кроме того, в необработанном образце значения диэлектрических потерь D с ростом частоты сильно уменьшаются рис.6, доходит до минимума и с дальнейшим ростом частоты растет до максимального значения при $f= 10^4 Гц$.³

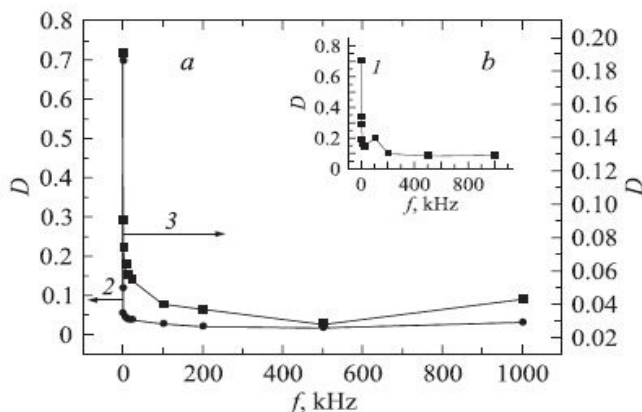


Рисунок 6. Зависимость диэлектрических потерь от частоты
1 - необработанный адсорбент,
2 - обработанный электрическим разрядом адсорбент(τ=1час),
3 - обработанный электрическим разрядом адсорбент (τ=2часа).

Спад диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в зависимости от частоты объясняется тем, что с ростом частоты сначала одни, а затем

³Gashimov, A.M. Dielectric parameters of composites based on electric discharge processed natural zeolite / A.M. Gashimov, I.G. Zakiyeva // Technical Physics, ISSN 1063-7842, - 2017, -Vol. 62, -No. 9, - pp. 1381-1384

другие заряженные частицы (релаксаторы) не успевают за четверть периода приложенного переменного напряжения достигнуть мест локализации и, непрерывно следуя за изменением электрического поля, дают вклад уже в проводимость, в результате чего увеличивается проводимость (см. рисунок 7).

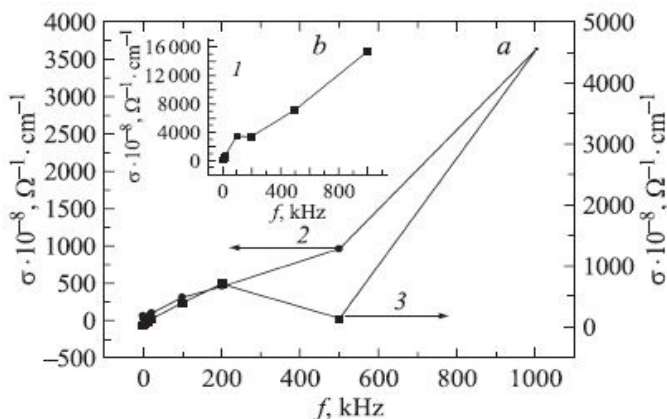


Рисунок 7. Зависимость электропроводимости от частоты.

Из сравнения кривых *a, b* (рис.7) видно, что электропроводность σ необработанного образца (*b*) почти в 10 раз больше чем σ обработанного (*a*) в течение 1 часа.

Вместе с тем, в области низких частот электропроводность монотонно растет, а затем с ростом частоты сильно увеличивается. При этом электропроводность σ изменяется по закону $\sigma \sim f^{0.8}$. Полученная зависимость $\sigma \sim f^{0.8}$ свидетельствует о прыжковом механизме переноса заряда по состояниям, локализованным в окрестности уровня Ферми.⁴

⁴Мотт, Н. Электронные процессы в некристаллических веществах / Н.Мотт, Э. Дэвис.2-е изд. - М.: Мир, - 1982, - 368 с.

Емец, Ю. П. Дисперсия диэлектрической проницаемости трех и четырехкомпонентных матричных сред // ЖТФ,- 2003.Т. 73, № 3, с. 42-52.

Большая разница между электропроводностями, связана с тем, что в результате электрообработки, за счет очищения адсорбента уменьшается число носителей тока, тем самым уменьшается электропроводность и соответственно уменьшается действительная часть диэлектрической проницаемости, что подтверждается экспериментальными результатами рисунок 8.

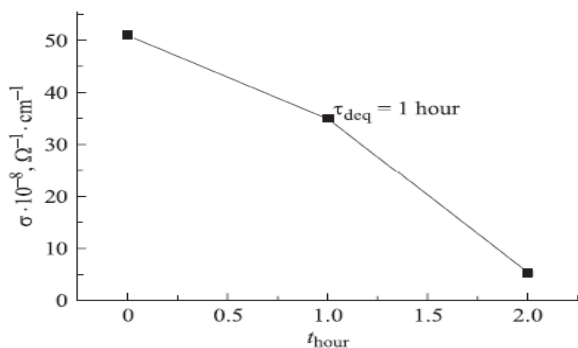


Рисунок 8. Зависимость проводимости от времени обработки адсорбентов ($\tau_{\text{деградации}}$ -1 час).

Результаты проведенных исследований и экспериментов показали, что воздействие электрического барьерного разряда на природный цеолит приводит не только к его структурным изменениям, но и изменениям электрофизических характеристик и диэлектрических параметров.

4. Новые электрофизические способы в процессах очистки производственных сточных вод. В четвертой главе работы описаны электрофизические методы, используемые в процессах очистки производственных сточных вод текстильных, кожевенных, нефтеперерабатывающих предприятий и мыловаренных цехов. На основании полученных результатов была разработана технология очистки сточных вод промышленных предприятий от вредных примесей на природном адсорбенте - клиноптилолит без активации и на

предварительно активированном в электрическом барьерном разряде.

Технологическая схема установки для очистки сточных вод природными адсорбентами представлена на рисунке 9.

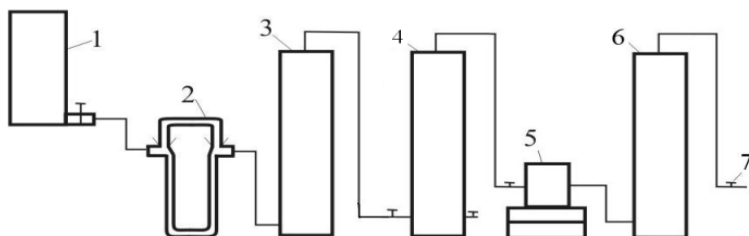


Рисунок 9. Схема технологической установки для очистки сточных вод: 1-объем для воды, 2-реометр, 3-отстойник, 4-цеолитовая колонка, 5-насос, 6-емкость для сбора воды, 7-вентиль.

Природный цеолит, предварительно обработанный барьерным электрическим разрядом, загружался в реактор. В опытах использовались электрически необработанные и обработанные образцы природного цеолита. Сточная вода промышленного производства загружалась в емкость 1, затем насосом с определенной скоростью, измеряемой реометром 2 подавалась вниз отстойника 3, отстоявшаяся вода поступала вниз в специальную колонку 4, заполненный активированным электрическим разрядом адсорбент. Сточные воды пропускались через цеолитовую колонку с определенной постоянной скоростью. После адсорбера, очищенная активированным цеолитом вода насосом 5 собирается в емкость 6 для сбора чистой воды и выводится наружу для дальнейшего потребления. После каждого цикла очистки проба воды вместе с пробой исходной (неочищенной) воды, а также очищенной цеолитом, но не активированным электрическим разрядом, подвергалась химическому анализу на содержание в них

различных примесей, результаты экспериментов которого приведены в таблице 2, 3 и 4.

Сточные воды предприятий кожевенного производств относятся к многокомпонентным системам и характеризуются содержанием в своем составе высоких концентраций различного рода органических и неорганических веществ, которые, в конечном счете, достаточно сильно загрязняют водные ресурсы.

Сточные воды кожевенных предприятий содержат ионы хрома, меди, цинка, свинца, никеля, бериллия, алюминия, железа и других металлов. Химическая очистка сточных вод от названных примесей путем обработки щелочью обеспечивает их очистку не более, чем на 70% так как вредные металлы осаждаются в виде нерастворимых гидроксидов.

В таблице 2 приведены результаты исследования очистки сточных вод кожевенных предприятий.

Таблица 2

Результаты химического анализа сточных вод кожевенных предприятий на природном адсорбенте, активированном в барьерном разряде

Показатели сточной воды	Исходная	Условия эксперимента	
		Без обработки адсорбента	Предварительная обработка адсорбента
рН	12,5	12,3	9
Мутность, мг/л	3,8	2,8	0,16
НСО ₃ ⁻ , мг/л	18,4	10	0,1
Са ²⁺ , мг/л	521	401	0,1
Na ₂ CO ₃ , мг/л	10388	4536	90
Са(ОН) ₂ , мг/л	592,6	201,6	0,18
NaOH, мг/л	196	170	90
NH ₄ , мг/л	875	209,9	0,66
NH ₄ Cl, мг/л	2598,2	1234,8	2
Na ₂ S, мг/л	167,45	120,5	60,7

Из табличных данных видно, что очистка сточной воды кожевенного предприятия содержащей примеси NH_4 , NaOH , Ca , NH_4Cl , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Na_2S , Na_2CO_3 и др. на природном адсорбенте, обработанном в электрическом поле барьерного разряда значительно лучше (92-99%), чем на необработанном адсорбенте (40-45%) таблица 2.

Содержание примесей в очищенной воде значительно уменьшилось по сравнению с исходной водой. Очищенную воду можно использовать в производственных и технических целях в цикле замкнутого водоснабжения.

Содержание фтора в природной воде колеблется в пределах 0,01÷12 мг/л. Согласно требованиям ГОСТ РФ 51232-98 «Вода питьевая», установлено предельно допустимое содержание фтора в питьевой воде 1,5 мг/л. Оптимальной считается концентрация около 1 мг/л.

В таблице 3 приведены результаты экспериментов по очистке подземных вод от ионов фтора на клиноптилолите предварительно подвергнутого воздействию электрического разряда, уменьшилось на 92,5%, до значения, соответствующего норме по ГОСТ (таб. 3).

Результаты проведенных исследований показали, что при определенных режимах электрической обработки адсорбентов возможно методом адсорбции на природном цеолите снизить количество фтора в природной фторсодержащей воде до значений, нормированных по ГОСТ.⁵

В таблице 4 представлены результаты исследования очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий природным цеолитом, активированным факельным разрядом⁶. Из таблицы видно, что активация однофазного адсорбента факельным разрядом оказывает существенное воздействие на очистку сточной воды.

⁵Hasanov, M.A., Zakiyeva, I.G., Jafarova, F.Sh. Adsorptive purification of fluorine on clinoptilolite pre-treated in an electric field barrier discharge // 7-th ICTPE,- TR Northern Cyprus: - 7-9 July,- 2011,- p. 344-346.

⁶Закиева, И.Г. Изменение качественных показателей сточных вод после очистки отразличных элементов на природном адсорбенте, активированным в электрическом разряде // Баку: ELM, Журнал Проблемы Энергетики,- 2019. №4, - с. 25-30.

Таблица 3.

**Результаты химического анализа подземных вод до и после
очистки от фтора и различных элементов на природном
адсорбенте, активированном в барьерном разряде**

№	Наименование показателей	Един. измерен.	ГОСТ 2874-82	Состав		
				№1	№2	№3
5.	цветность	°С	20(35)	9	9	5
6.	Взвешенные частицы	мг/л	1,5(2,0)	3,94	2,2	0,73
7.	рН	моль/л	6-9	7,95	7	6
8.	Соли аммония(<i>N-NH₄</i>)	мг/л	2,0	0	0	0
9.	Гидрокарбонат (HCO ₃)	мг/л	-	158,6	110	170
10.	Железо (Fe)	-	0,3(1)	0,83	0,33	0,05
11.	Кальций(Ca)	-		60	5,04	5
12.	Магний (Mg)	-		18,2	18,2	17,6
13.	Фтор		1,5	4	3	0,3
14.	Минерализация (Σи)	мг/дм ³		448,6	426,6	422,6
15.	Натрий+Калий (Na+K)	-	200(Na)	56,8	52,1	48,5
16.	Нитраты (NO ₃ ⁻)	-	45	0,95	0,95	0,63
17.	Нитриды (NO ₂ ⁻)	-	3	0,029	0,0125	0,0035
18.	Жесткость	мг-экв/л	7(10)	4,02	4	3,95
19.	Жесткость карбоната	ммол/л		2,6	2,6	0,5
20.	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	-	500	127,3	110,5	100
21.	Сухой остаток	-	1000(1500)	368	346	342
22.	Хлориды (Cl ⁻)	мг/л	350	47,8	36,9	34

№1- Исходная вода;

№2 - Без воздействия барьерного разряда;

№3 - Обработка барьерным разрядом.

Таблица 4.

**Результаты химического анализа сточных вод
нефтеперерабатывающих предприятий на природном
адсорбенте, активированном в факельном разряде**

№	Наименование показателей	Единица измерения	ГОСТ 2874-82	Состав		
				№1	№2	№3
2	Цветность	°С	20 (35)	195	175	11
3	Мутность	ЕМ/л		106	79	0.8
4	рН	моль/л	6-9	6.95	6	2.8
5	Соли аммония (N-NH ₄)	мг/л	2.0	1936	199.3	0.7
6	Гидрокарбонаты (HCO ₃ ⁻)	мг/л	-	781	781	0
7	Кальций (Ca)	мг/л		60	60	4.5
8	Магний (Mg)	мг/л		36.5	36.5	2.7
9	Минерализация (∑ <i>и</i>)	мг/дм ³		4770	4748	100.5
10	Натрий+Калий (Na ⁺ +K ⁺)	мг/л	200(Na)	1183	1175	282.9
11	Нитраты NO ₃ ⁻	мг/л	45	1.42	1.42	0.5
12	Жесткость	мг-экв/л	7(10)	6.0	6.4	2.5
13	Жесткость карбонатная	моль/л		6.0	6.0	0
14	Сульфаты (SO ₄ ²⁻)	мг/л	500	4235	4175	103.2
15	Сухой остаток	мг/л	1000 (500)	2405	2390	100.9
16	Хлориды(Cl ⁻)	мг/л	350	112	110	10.5
17	Электропроводимость	мкСм	1500	6820	6800	105.9
18	Нефтепродукты	мг/л		43111.6	284.5	5.7

Количество примесей, при очистке сточной воды на адсорбенте, предварительно активированном факельным разрядом, уменьшается на 65% -90%, для нефтепродуктов на 99,9% по сравнению с водой, очищенной не активированным адсорбентом.

Результаты проведенных исследований легли в основу разработки принципиальной технологической схемы по очистке

сточных вод промышленных предприятий с применением электрического поля различных разрядов.

Рассмотренные электрофизические способы очистки сточных вод различных предприятий промышленности показали, что лучшие результаты были получены на адсорбентах, обработанных в электрическом поле барьерного разряда, а также обработка природного адсорбента барьерным разрядом более практична, как с экономической точки зрения, так и по технологии.

Разработанная технология очистки сточных вод с использованием активированного природного адсорбента позволит повысить эффективность адсорбционной очистки промышленных и бытовых сточных вод, и тем самым решить назревшие проблемы в сфере охраны окружающей среды.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика модифицирования поверхности природного адсорбента при воздействии коронного, барьерного и факельного разрядов. Исследовано и выявлено, что воздействие электрического коронного, барьерного, факельного разрядов на природный адсорбент приводит к заряженному состоянию поверхности адсорбентов. [1,20].
2. Установлено, что воздействие электрического поля коронного, барьерного и факельного разрядов приводит к электрической зарядке сорбентов, усовершенствованию их кристаллической структуры, очищению заблокированных различными примесями входных окон в пустотах каркаса цеолита, как природного цеолита, так и синтезированного однофазного цеолита. Методом термостимулированной релаксации (ТСР), выявлено, что количество накопленного заряда на поверхности природного и однофазного адсорбента идентично [12,14,20].
3. Изучена зависимость величины электрического заряда, накопленного в адсорбенте, от его размеров частиц после

воздействия на него барьерным разрядом. Показано, что с уменьшением размера частиц образцов, увеличивается обрабатываемая электрическим разрядом поверхность, что приводит к увеличению накопленного в адсорбенте под воздействием электрического разряда количество заряда [13].

4. Установлено, что обработка в электрическом разряде природного цеолита приводит к структурным изменениям и изменениям электрических характеристик композита: с увеличением времени обработки увеличивается степень кристалличности адсорбента и тем самым, увеличивается интенсивность рентгеновских спектров, появляются дополнительные поры [22].
5. Полученные электрофизические и диэлектрические характеристики композитов на основе активированного природного цеолита подтверждают, что воздействие электрического барьерного разряда на композит можно считать наилучшим как с экономической точки зрения, так и с учётом качественных показателей адсорбционного процесса [22,23].
6. Выявлено, что барьерный разряд обладает большей степенью воздействия на поверхность и структуру адсорбента. Воздействие электрического барьерного разряда значительно повышает адсорбционную способность адсорбентов, тем самым улучшает эффективность очистки сточных вод промышленных предприятий, что соответствует значениям, нормированных по ГОСТ РФ 51232-98 [9].
7. Разработана и предложена принципиальная технологическая схема установки для очистки сточных вод промышленных предприятий с применением электрического барьерного разряда, которая позволит увеличить эффективность очистки производственных сточных вод [15,17].
8. Применение данной технологии позволит повысить эффективность очистки промышленных и бытовых сточных вод и тем самым решить значительное количество назревших проблем в сфере охраны окружающей среды [25].

**Основное содержание диссертации опубликовано
в следующих работах:**

1. Həşimov, A.M. Sənayə tullantı sularının təmizlənməsi proseslərində yeni elektrofiziki üsulları / A.M. Həşimov, K.B.Qurbanov, M.Ə. Həsənov, I.H. Zəkiyeva // Jurnal AMEA Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, Fizika və Astronomiya, Xəbərlər –Transactions, -Bakı:-2004.Cild XXIV, №2, - s.81-83.
2. Hashimov, A.M., Aliyev, S.S., Mekhtizadeh, R.N., Hasanov M.A., Zakiyeva I.H. Clearing of industrial sewage with use of electric discharges effect // Second International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, - Tabriz, Iran: -6-8 September,- 2004,- p. 461-462.
3. Hashimov, A.M., Qurbanov, K.B., Mekhtizadeh, R.N., Khalilov J.J., Zakiyeva, I.H., Hasanov, M.A. The use of the klinoptilolit at the water calcinations under the influence of the electric charge // Third International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, - Ankara, Turkey: -29-31 May,- 2006,- p. 1135-1137.
4. Hashimov, A.M., Hasanov, M.A., Ganbarov, D.M. Zakiyeva, I.G. Formation of the charged condition in zeolites // Fourth International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, - Pitesti, Romania:-4-6September, 2008,- p.16-17.
5. Gashimov, A.M., Kurbanov, K.B., Ganbarov, D.M., Zakiyeva, I.G. Formation of Charged state in one-phase zeolite under the effect of electric discharges // 5-th ICTPE,- Spain: University of Basque Country Bilbao:3-5 September, - 2009,- p.243-244.
6. Закиева, И.Г. Определение электрического сопротивления однофазного цеолита в зависимости от степени влажности // Научная конференция аспирантов НАН Азербайджана, - Баки: «ELM», - 2009, - с. 5-8.
7. Hashimov, A.M., Ganbarov, D.M., Gurbanov, K.B., Zakiyeva I.G., Hasanov M.A. Electric discharge treatment of one phase adsorbent for cleaning of the textile factories sewage // 6-th International

- Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, - Tabriz, Iran: -14-16 September,- 2010,- p. 598-600.
8. Hosseinahli N.M., Hashimov, A.M., Hasanov, M.A., Zakiyeva I.G. Mathematical calculation of adsorption in a liquid adsorbent system// 6-th International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, - Tabriz, Iran: -14-16 September,- 2010,- p. 401-403.
 9. Hasanov, M.A., Zakiyeva, I.G., Jafarova, F.Sh. Adsorptive purification of fluorine on clinoptilolite pre-treated in an electric field barrier discharge // 7-th ICTPE,- TR Northern Cyprus: - 7-9 July,- 2011,- p. 344-346.
 10. Закиева, И.Г. Адсорбционная очистка углеводородных жидкостей от примесей с помощью электрического разряда барьерного типа // Баку: ЭЛМ, Журнал Проблемы Энергетики, - 2011. №3, - с.71-73.
 11. Гашимов, А.М. Электроразрядная обработка природного однофазного адсорбента для очистки сточных вод / А.М.Гашимов, Д.М.Ганбаров, К.В. Гурбанов, И.Г.Закиева, М.Г. Гасанов // Журнал АМЕА-нын Хəбərлəri, Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, Fizika və Astronomiya, Bakı: Elm, - 2012. Cild XXXII, №2, - с.119-124.
 12. Гашимов, А.М. Образование заряженного состояния в однофазных цеолитах под воздействием электрических разрядов / А.М.Гашимов, М.А. Гасанов, И.Г. Закиева // Проблемы Энергетики,- Баку: ЭЛМ, - 2013. №1, - с. 57-59.
 13. Гашимов, А.М. Размерный эффект при образовании зарядового состояния в частицах природного клиноптилолита под воздействием электрического разряда / А.М.Гашимов, К.В. Гурбанов, Р.Н. Мехтизаде, И.Г. Закиева, М.А.Гасанов // Электронная обработка материалов, - Кишинев: - 2014. Т. 50, №5, с.88-91.
 14. Гашимов, А.М. Активация поверхности природного однофазного цеолита факельным разрядом для очистки сточных вод/А.М.Гашимов, М.А.Гасанов, И.Г.Закиева //Журнал Энергетика, Высших учебных заведений и Энергетических Объединений СНГ,-Минск:-2014.№1, с.70-77

15. Zakiyeva, I.Q. Sewage treatment of the industrial plants by the activated natural adsorbent // 1-st International Scientific Conference of young scientists and specialists, The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental and applied sciences, Socar. Baku: -15-16 October - 2014, -Azerbaijan National Academy of Sciences,-p. 263-265.
16. Hashimov, A.M. Application of Electrophysical Processes for Solution of Ecological Problems of Power Generation Systems / A.M. Hashimov, H.J. Huseynov, K.B. Gurbanov, I.H. Zakiyeva // Электронная обработка материалов, -Кишинев: -2014,p.99–103.
17. Zakiyeva, I.G. New methods for the effectivev treatment of industrial wastewater natural adsorbents // Genc alimlər, doktorantlar, magistrələr və mütəxəssislərin“Azərbaycanda Sudan İstifadənin müasir problemləri və onun idarə olunması”Elmi-Praktiki konfransının materialları,- Bakı:18-19fevral -2015, Tezis 71,- p.137-138.
18. Hosseinahli, N.M., Hashimov, A.M., Hasanov, M.A., Zakiyeva, I.G., Huseynova, A.D. Desorption processes in conditions of electrical discharges //11-th ICTPE -Bucharest, Romania:-10-12 September, - 2015,- p. 92-94.
19. Hashimov, A.M., Gurbanov, K.B. Mehdizadeh, R.N., Hasanov, M.A., Mehdiyev, B.Q., Zakiyeva, I.H., Mustafayeva, I.I., Hosseinahli, N.M. Electrical Discharge treatment of zeolites for cleaning wastewater // 12-th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering, - Bilbao, Spain:- 7-9 September,- 2016, - №43, - p. 218-221
20. Гашимов, А.М. Активация поверхности клиноптилолита электрическим разрядом / А.М. Гашимов, К.В. Гурбанов, Р.Н. Мехтизаде, С.С. Алиев, И.Г. Закиева,М.А. Гасанов.// Физика и химия обработки материалов, - Москва: -2016. №6, с.70-73.
21. Gashimov, A.M. Adsorbent regeneration by electric discharge influence /A.M.Gashimov, K.B.Gurbanov, I.G.Zakiyeva, Hosseinahli N.M. // Журнал «Физика», - 2016. №3, Vol. XXII,- p.35-37.

22. Гашимов, А.М. Влияние электрических обработок на электрофизические характеристики природного адсорбента / А.М.Гашимов, И.Г. Закиева // Электронная обработка материалов,- Кишинев:- 2016.Т. 52, №5, с. 58-62.
23. Gashimov, A.M. Dielectric parameters of composites based on electric discharge processed natural zeolite / A.M. Gashimov, I.G. Zakiyeva // Technical Physics, ISSN 1063-7842, - 2017, -Vol. 62, - No. 9, - pp. 1381-1384.
24. Cəfərova, F.Ş. Neft hasilatı və emalı proseslərində ozonlaşdırılma üsulu ilə - neft emulsiyasının parçalanmasının tədqiqi / F.Ş.Cəfərova, I.N. Zəkiyeva, Z.A.Tağıyeva // Jurnal Energetikanın problemləri, - Bakı: - 2019. №1, - s.43-45.
25. Закиева, И.Г. Изменение качественных показателей сточных вод после очистки отразличных элементов на природном адсорбенте, активированным в электрическом разряде // Баку: ELM, Журнал Проблемы Энергетики,- 2019. №4, - с. 25-30.

Защита диссертации состоится "31" май 2022 года в 13⁰⁰ часов на заседании Диссертационного Совета ЕД 1.17 действующего на базе Института Нефтехимических Процессов Азербайджана.

Адрес: АЗ 1025, г. Баку, пр. Ходжалы 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Нефтехимических Процессов Национальной Академии Наук Азербайджана.

Электронные версии диссертации и автореферата размещены на официальном сайте www.nkpi.az Института Нефтехимических Процессов Национальной Академии Наук Азербайджана.

Автореферат разослан по соответствующим адресам "29" апрель 2022 года.

Подписано в печать: 26.04.2022

Формат бумаги: А5

Объём: 37916

Тираж: 70